

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

Katedra fyzické geografie a geoekologie



**VÝVOJ INTENZITY TEPELNÉHO OSTROVA V PRAZE A  
BERLÍNĚ V OBDOBÍ 1961–2008**

Heat-island intensity development in Prague and Berlin during the period 1961–2008

*(bakalářská práce)*

Aleš URBAN

Vedoucí práce: RNDr. Jiří KASTNER

Praha 2009

Rád bych poděkoval panu RNDr. Jiřímu Kastnerovi za vedení mé bakalářské práce, cenné připomínky a rady. Dále děkuji své rodině za podporu během zpracovávání bakalářské práce i během celého studia.

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval sám a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje. Svoluji zapůjčení této práce ke studijním účelům.

V Praze dne 15. 8. 2009

.....

Aleš Urban

## ABSTRAKT

Městský tepelný ostrov je klimatický jev charakteristický nepřírodným zahříváním zemského povrchu a atmosféry ve městech ve srovnání s jejich okolím (Voogt, 2004). Cílem této práce je porovnat vývoj intenzity městského tepelného ostrova dvou evropských metropolí – Prahy a Berlína – za období 1961–2008. Předpokladem bylo, že se rozdíl teploty vzduchu mezi meteorologickou stanicí v centru města a příměstskou stanicí zvyšuje ve prospěch stanice v centru města. U Berlína se tento předpoklad nepodařilo potvrdit z důvodu umístění městské stanice na letišti Tempelhof a zároveň z důvodu relativně značného oteplování příměstské stanice v Neuruppinu. Roční intenzita Berlínského tepelného ostrova (při přepočtu všech stanic na stejnou nadmořskou výšku) činí v průměru  $0,66\text{ }^{\circ}\text{C}$  s poklesem za sledované období o  $0,0071\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ . Největší intenzity dosahuje tepelný ostrov v létě ( $0,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), nejmenší v zimě ( $0,47\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). V případě Prahy se předpoklad potvrdil. Průměrná intenzita tepelného ostrova činí za sledované období  $0,87\text{ }^{\circ}\text{C}$  s průměrným meziročním růstem o  $0,0066\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Největší intenzity dosahuje pražský tepelný ostrov v létě ( $0,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), nejmenší na podzim ( $0,79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

**Klíčová slova:** městský tepelný ostrov, intenzita tepelného ostrova, teplota vzduchu, Praha, Berlín, Postupim, Neuruppin

## ABSTRACT

The urban heat island is the climate effect characteristic by unnatural warming of the urban surface and atmosphere compared to their surroundings. The aim of this paper is to compare the heat-island intensity development of two European cities – Prague and Berlin – for the period 1961–2008. Our hypothesis was that the air temperature differences between urban stations and suburban stations increases for the benefit of the urban stations. In the case of Berlin the hypothesis was not confirmed because of location of the urban station on the Tempelhof airport area. The second cause is relatively fast warming of the suburban station in Neuruppin. The average annual heat-island intensity in Berlin (when the elevation of all stations is reduced on the same level) is 0,66 °C with average decrease by 0,0071 °C/year (in 1961–2008). The highest intensity reaches Berlin in summer (0,91 °C) and the lowest in winter (0,47 °C). In the case of Prague the hypothesis was confirmed. The average intensity is 0,87 °C. The average annual growth is 0,0066 °C/year. The highest intensity is in Prague in summer (0,96 °C) and the lowest in autumn (0,79 °C).

**Keywords:** urban heat island, heat-island intensity, air temperature, Prague, Berlin, Potsdam, Neuruppin

# OBSAH

<b>1 ÚVOD</b>	<b>6</b>
1.1 Cíl práce	6
1.2 Fyzicko-geografická charakteristika	6
1.2.1 Berlín	7
1.2.2 Praha	9
<b>2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY MĚSTSKÉHO TEPELNÉHO OSTROVA</b>	<b>12</b>
2.1 Definice města	12
2.2 Městský tepelný ostrov	12
<b>3 METODY ZPRACOVÁNÍ</b>	<b>16</b>
3.1 Zdroje dat	16
3.2 Homogenita dat	16
3.3 Metody a výpočty	16
<b>4 VÝSLEDKY</b>	<b>19</b>
4.1 Teplota vzduchu	19
4.1.1 Trendy vývoje teploty vzduchu za jednotlivá roční období	19
4.1.2 Shrnutí výsledků	25
4.2. Intenzita městského tepelného ostrova Prahy a Berlína	26
4.2.1 Analýza vývoje intenzity	26
4.2.2 Shrnutí analýzy	32
<b>5 DISKUZE</b>	<b>34</b>
5.1 Berlín	34
5.2 Praha	36
5.3 Severoatlantská oscilace	39
5.4 Vliv měst na globální klima	43
<b>6 ZÁVĚR</b>	<b>47</b>
<b>7 ZDROJE</b>	<b>48</b>
7.1 Použitá literatura	48
7.2 Internetové a další zdroje	50
7.2.1 Internetové zdroje	50
7.2.2 Zdroje dat	51
<b>SEZNAM GRAFŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK</b>	<b>52</b>
<b>PŘÍLOHY</b>	<b>54</b>

# 1 ÚVOD

## 1.1 Cíl práce

V současné době se ve světě hodně diskutuje o globálním oteplování. Z čistě vědecké diskuze o vlivu člověka na tyto procesy a jeho možnostech zmírnit či zvrátit jejich rychlost a trendy se díky mnoha neziskovým (ale i ziskovým) organizacím a politikům toto téma stalo velmi populární a obecně diskutované. Pokud ovšem mohou běžní občané někde pozorovat negativní vlivy člověka na okolní prostředí, tak jsou to zejména obyvatelé velkých měst, jejichž atmosféra má díky vlastnostem městského povrchu specifický charakter, který můžeme pojmenovat **městský tepelný ostrov**. Takový jev je podle Voogta (2004) charakteristický nepřírodným zahříváním zemského povrchu a atmosféry ve městech ve srovnání s jejich neurbanizovaným okolím.

Tato práce porovnává vývoje intenzity městských tepelných ostrovů dvou metropolí ve střední Evropě – Prahy a Berlína. Berlín, jako srovnání pro Prahu, jsem si zvolil mimo podobné zeměpisné polohy hlavně kvůli snadné dostupnosti dat na stránkách německého meteorologického ústavu (Deutscher Wetterdienst – DWD) a zároveň díky dostatečně dlouhé časové řadě těchto měření. U každého města jsem použil data ze stanice ležící v centru města. Pro porovnávání jsem poté ke každé městské stanici vybral nejbližší stanici, která se nachází mimo městský tepelný ostrov. Aby hodnoty příměstských stanic byly co nejméně znehodnoceny vlivem města, vybral jsem stanice na západ od města. U Prahy to byla celkem jednoduchá volba a jako příměstskou stanici jsem použil Ruzyni. U Berlína odpovídá nejvíce poloze Ruzyně poloha stanice v Postupimi. Jako druhou stanici jsem použil Neuruppin, asi 70 km vzdálené městečko směrem na SZ od Berlína (viz Příloha 1).

Hlavní otázka této práce je, zda se zvyšuje intenzita městských tepelných ostrovů, tj. jestli teplota v urbanizovaných oblastech roste rychleji, než v jim blízkých příměstských oblastech. V diskuzi jsou probírány důvody, proč tomu tak je, či není.

## 1.2 Fyzicko-geografická charakteristika

Podle aktualizované Köppen-Geigerovy klasifikace klimatu leží Berlín i Praha v oblasti Cfb (Kottek et al., 2006) – mírné, vlhké podnebí s teplým létem.

### 1.2.1 Berlín

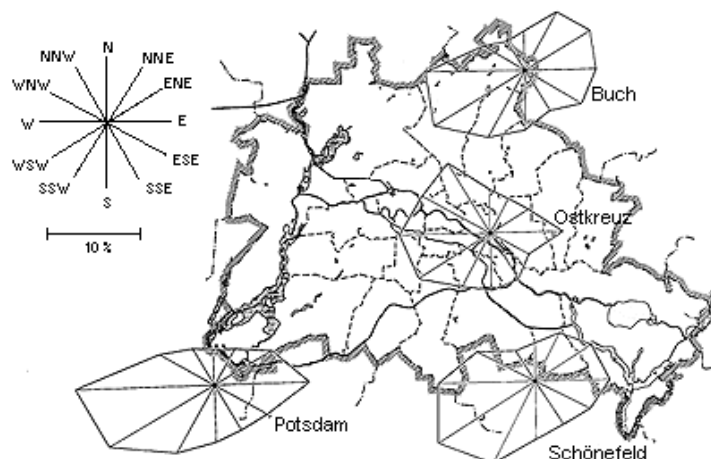
Berlín se nachází ve východní části Německa, asi 70 km na západ od hranic s Polskem, v rovinaté jezerní krajině Severoněmecké nížiny. Město se rozkládá ve starém říčním údolí, kudy odtékala voda při ústupu ledovce v poslední době ledové. Podloží je tvořeno převážně písčítými glaciálními sedimenty. Dnes tímto údolím protéká řeka Spréva, která se na západním okraji Berlína vlévá do řeky Havel. Ta protéká řadou jezer, jako jsou jezero Tegeler nebo Wannské jezero. Město leží uprostřed rozsáhlého pásu lesů tvořených borovicemi a břízami (Britannica, 2009).

Kromě údolí řeky Sprévy se Berlín rozpíná do okolních, málo vyvýšených plošin. Severní část města se rozprostírá na Branimské plošině a jižní část na Tetlowské plošině. Nejvyššími body Berlína jsou Teufelsberg a Müggelberge. Oba kopce mají nadmořskou výšku přibližně 115 m (Wikipedia, 2009)

Průměrná teplota za celé sledované období (1961–2008) činí v Berlíně 9,7 °C, Postupimi 9,0 °C a Neuruppinu 8,9 °C (tj. u Berlína a Postupimi o 0,3 °C a u Neuruppinu o 0,4 °C více, než za normálové období 1961–1990, viz Obr. 2, 3, 4).

Podle měření biologického institutu v Dahlemu (Strumpf a Buchhorn, 2006) nastane v Berlíně (Dahlemu) podle třicetiletého průměru (1971–2000) během jednoho roku 67 mrazových ( $T_{\min} < 0\text{ °C}$ ), 21 ledových ( $T_{\max} < 0\text{ °C}$ ), 35 letních ( $T_{\max} > 25\text{ °C}$ ) a 7 tropických dní ( $T_{\max} > 30\text{ °C}$ ). Tyto údaje jsou ve studii porovnány s hodnotami z roku 2006, kde u chladných extrémů jsou hodnoty podobné (77 mrazových a 21 ledových dní), ale je zde evidentní rapidní nárůst letních a tropických dnů (67 resp. 23). Na stanici Berlín-Dahlem byla podle údajů na stránkách Freie Universität Berlin (2000–2007) za období 1. 4. 1908–15. 10. 2007 naměřena nejnižší teplota 11. února 1929 o hodnotě -26,0 °C. Nejvyšší teplota 37,8 °C byla za stejné období změřena 11. července 1993.

V Berlíně převládají větry ze západního (21 %) resp. jihozápadního (16 %) směru (stadtenwicklung.berlin, 2009). Průměrná rychlost větru činí 2,8 m/s (větrné podmínky Berlína viz Obr. 1)

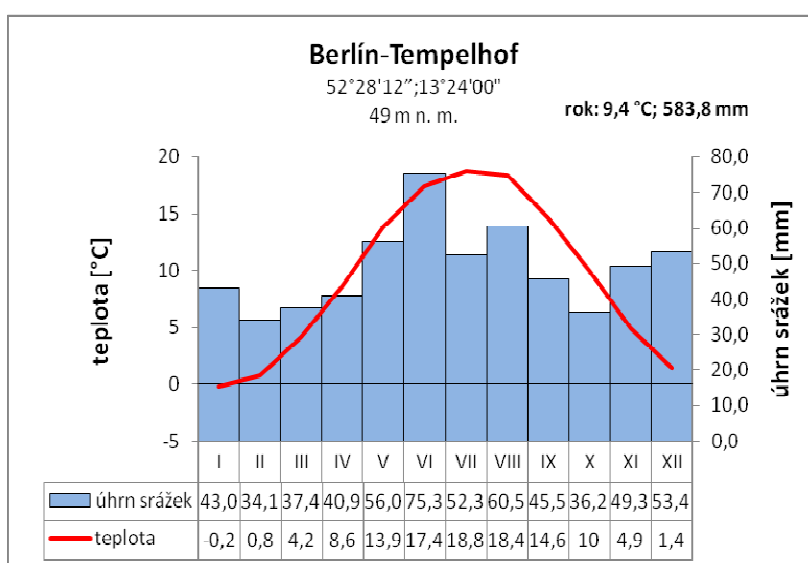


**Obr. 1:** Větrné podmínky v Berlíně (zdroj: stadtentwicklung.berlin, 2009)

Podle ročenky německého DWD (2007) je podnebí Braniborska „relativně suché a kontinentální s velkými odchylkami mezi jednotlivými ročními obdobími. Berlínské podnebí je o něco teplejší díky městskému tepelnému ostrovu“ (DWD, 2007).

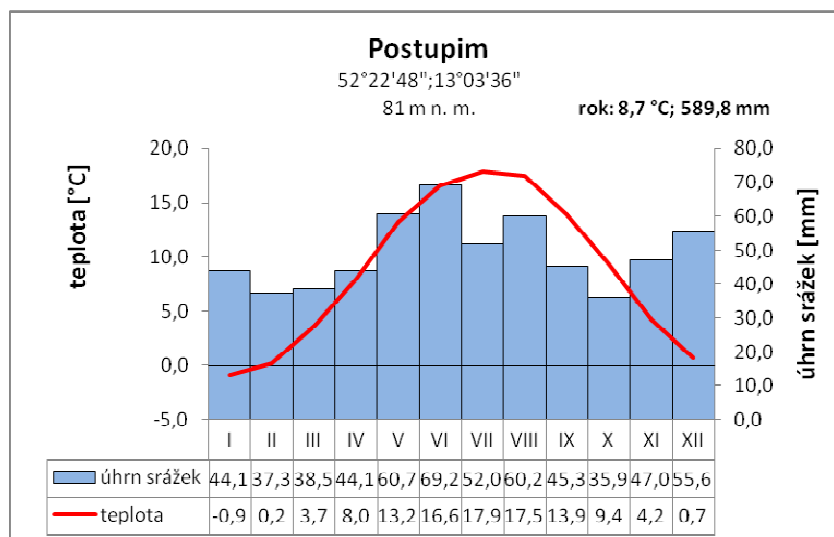
Roční úhrn srážek dosahuje v Berlíně průměrně 583,8 mm (1961–1990 viz Obr. 2), v Postupimi je to o něco více – 590 mm (Obr. 3). V Neuruppinu je úhrn srážek nižší, pouze 510,9 mm za rok (Obr. 4). Nejdeštivější jsou letní měsíce, konkrétně na všech stanicích červenec. Druhotné maximum po létě nastává na německých stanicích v zimě. Nejméně deštivými měsíci jsou únor a říjen.

Stanice Berlín-Tempelhof měří od roku 1948. Stanice Postupim měří již od roku 1893 a Neuruppin od roku 1961.

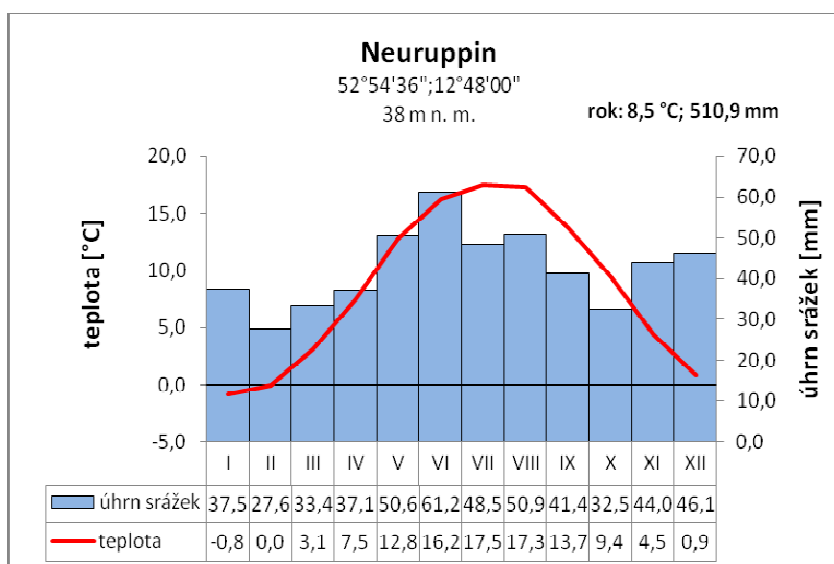


**Obr. 2:** Klimadiagram – Berlín-Tempelhof, 1961–1990 (zdroj: DWD)





**Obr. 3:** Klimadiagram – Postupim, 1961–1990 (zdroj: DWD)



**Obr. 4:** Klimadiagram – Neuruppin, 1961–1990 (zdroj: DWD)

## 1.2.2 Praha

Praha leží v centrální poloze Čech na Vltavě asi 40 km od jejího soutoku s Labem. Velká část města leží v širokém údolí řeky Vltavy, která se v centru města stáčí do velkého meandru. Okraje Prahy vystupují z vltavského údolí a rozprostírají se na rozsáhlé Pražské plošině. Vltava vtéká do Prahy ve výšce 190 metrů nad mořem a opouští ji na severu ve výšce 176 m n. m. Pražská plošina dosahuje na západním a jižním okraji města téměř 400 m n. m. (Bílá hora 381 m) (Wikipedia, 2009).

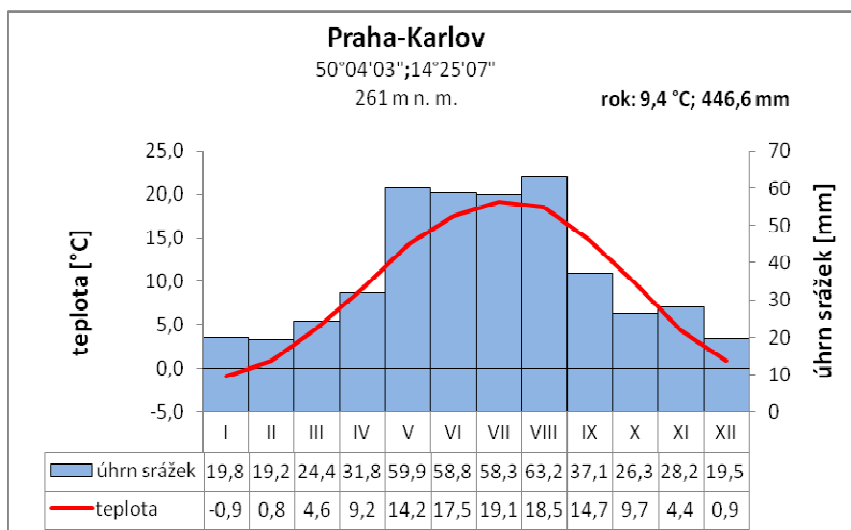
Průměrná teplota za sledované období činí na stanici Karlov 9,7 °C (oproti 9,4 °C za období 1961–1990) a na stanici Ruzyně 8,2 °C (7,9 °C). Červený et al. (1984) uvádí,

že mrazových dní je v Praze (v Klementinu od 1794) průměrně 88, ledových dní 26, letních dní 46 a tropických 9. Nejteplejším měsícem je červenec (Karlovy 19,1 °C resp. Ruzyně 17,5 °C) a nejchladnějším leden (-0,9 °C resp. -2,4 °C). V centru Prahy je průměrná teplota podle Němce (1997 in Stieblingová, 2004) při stejné nadmořské výšce o 1 °C vyšší než ve volné krajině. Nejvyšší naměřená teplota na území Prahy byla 27. 7. 1983 v Uhřetěvsi (40,2 °C) a nejchladnějším dnem byl 10. únor 1956 na Ruzyni s teplotou 31,1 °C pod bodem mrazu.

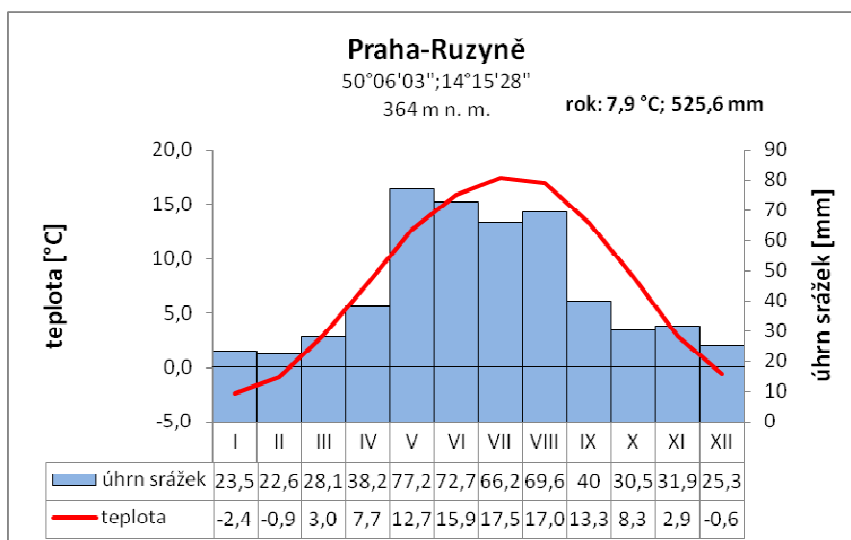
V Praze převládá západní a jihozápadní proudění. Nejméně fouká ze severovýchodu. Bezvětří je na Ruzyni v 11,3 %, na Karlově v 25,3 % případů. Podstatně větší procento bezvětří na Karlově dokazuje, že velká část Prahy leží v mělké kotlině, kde vzduch často stagnuje. I průměrná rychlost větru je v nejnižších částech Prahy značně nižší než v okrajových částech města a to dokonce ještě 40 m nad terénem vnitřního města. Poloha centra Prahy v kotlině je velmi nepříznivá při rozptylu škodlivin nad městem (Červený et al., 1984). To je podstatný rozdíl oproti plochému, lépe provzdušněnému Berlínu, kde je oproti jiným městům výrazně nižší koncentrace aerosolů a skleníkových plynů (Kottmeier, Biegert a Corsmeier, 2007)

Relativní vlhkost vzduchu ve vnitřní Praze je oproti ostatním regionům Česka nižší. Je podle Červeného et al. (1984) způsobena rychlým odtokem vody kanalizací, málo propustným, či zcela nepropustným povrchem, který je s výjimkou parků a sadů zastavěn, malou vertikální výměnou vzduchu a vysokým obsahem kouře a prachu, který absorbuje část vodní páry na kondenzačních jádrech. Průměrná relativní vlhkost je podle Červeného et al. (1984) na Karlově 70 % na Ruzyni 76 %.

Srážkově jsou pražské stanice o něco sušší, než německé, díky větší kontinentalitě klimatu. Hlavně v zimních měsících jsou srážky v Praze výrazně nižší (např. v prosinci 53,4 mm v Berlíně oproti 19,5 mm v Praze na Karlově) a nekoná se zde zimní druhotné maximum. Naopak zimní měsíce jsou v Praze nejsušší. Karlov dosahuje průměrného ročního úhrnu srážek (1961 – 1990 viz Obr. 5) 446,6 mm. Ruzyně je oproti tomu výrazně deštivější s 525,8 mm (Obr. 6). Nejdeštivější jsou opět letní měsíce, s celkem vyrovnanými srážkami od května do srpna. Na Karlově je maximální úhrn srážek v srpnu (63,2 mm), Ruzyně dosahuje maxima už v květnu (77,2 mm).



**Obr. 5:** Klimadiagram – Praha, Karlov, 1961–1990 (zdroj: ČHMÚ)



**Obr. 6:** Klimadiagram – Praha, Ruzyně, 1961–1990 (zdroj: ČHMÚ)

Červený et al. (1984) tvrdí, že městský tepelný ostrov díky tepelnému výdeji a exhalacím plyných, kapalných a pevných látek, může ovlivnit srážkový režim v daném městě. Zvýšení množství kapalných a pevných látek v ovzduší způsobí o 5–10 % vyšší úhrny srážek a větší pravděpodobnost výskytu příválových dešťů a bouřek. To nejspíš vysvětluje srážkové maximum na Karlově až v srpnu.

Na stanici Karlov v budově Fyzikálního ústavu MFF UK se měří od roku 1920 kromě teploty mnoho dalších meteorologických prvků. Na synoptické letecké základní pozorovatelně Ruzyně se sleduje vývoj počasí od roku 1937 (Stieblingová, 2004).

## 2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY MĚSTSKÉHO TEPELNÉHO OSTROVA

### 2.1 Definice města

Před samotnou definicí městského tepelného ostrova je důležité vymezit si pojem město. Město a jeho hranice můžeme vymezit dvěma způsoby:

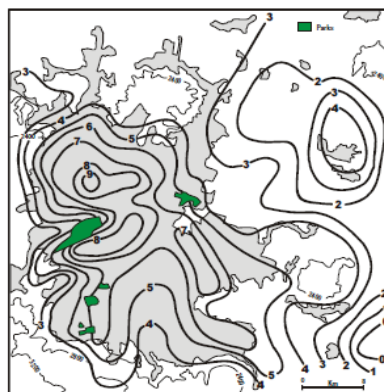
- a) Město jako těsně zastavěné území se zpevněným povrchem (silnice, chodníky), které zahrnuje izolované stromy, městské parky a ne příliš rozsáhlé nezastavěné plochy. Tomuto popisu odpovídají 2–3 % zemského povrchu (bez plochy ledovců) (Mills, 2007).
- b) Město jako propojený systém města a území, odkud lidé dojíždějí do města za prací či do školy. Takoví lidé sice většinou žijí za hranicemi města, ale jsou jeho nedílnou (zejména ekonomickou) součástí (Mills, 2007).

### 2.2 Městský tepelný ostrov

Efekt městského tepelného ostrova je způsobován přeměnou zemského povrchu z přírodního na pevný (městský). To výrazně ovlivňuje energetickou a vodní bilanci prostředí. Dešťová voda odtéká po nepropustných materiálech a méně se jí vypaří nebo vsákne v místě spadu. To způsobuje nadměrné zahřívání městského povrchu. Důsledkem rychlého odtoku vody z povrchu je větší rozkolísanost průtoků řek, které jsou více závislé na jednotlivých dešťových událostech. Neprodyšný povrch zvyšuje také význam změn teploty vůči energetické bilanci mezi povrchem a atmosférou (Mills, 2007).

Teplo od zahřátého městského povrchu přijímá část městské atmosféry sahající do výšky střech budov, která se nazývá **městský baldachýn** (urban canopy layer – UCL). UCL se skládá z mnoha dílčích mikroklimat jednotlivých ulic města. Ta se liší podle orientace jednotlivých ulic, výšky budov a použitých materiálů v dané ulici (Mills, 2007).

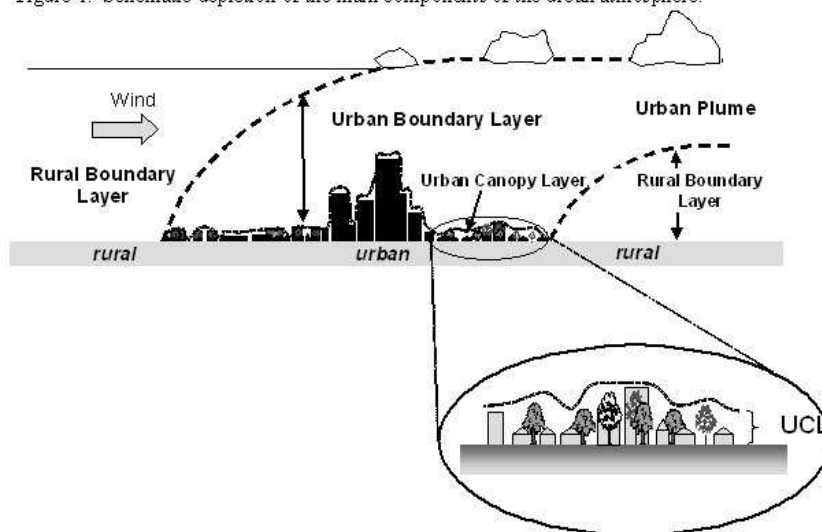
Charakter povrchu má silný vliv na tepelné vlastnosti UCL. Teploty jsou vyšší v hustěji zastavěných oblastech a nižší v blízkostech parků nebo více otevřených oblastech (Obr. 7). Teplota městského povrchu úzce souvisí s jeho vlastnostmi; během dne se suché, tmavé plochy, které silně absorbují sluneční záření, silně zahřívají, zatímco světlejší nebo vlhké plochy jsou mnohem chladnější. Zastíněné povrchy se také méně zahřívají (Voogt, 2004).



**Obr. 7:** Průměrná min. teplota v listopadu 1981 v Mexico City (zdroj: Mills, 2004)

Nad střechami domů se nachází **mezní vrstva** (urban boundary layer – UBL), která může dosahovat mocnosti přes 1 km přes den a stovek metrů v noci. UBL je tvořena masou teplého městského vzduchu, který se šíří dále po větru za hranice města (Obr. 8). V UBL vykazuje tepelný ostrov mnohem menší variabilitu než v ostatních částech (Voogt, 2004).

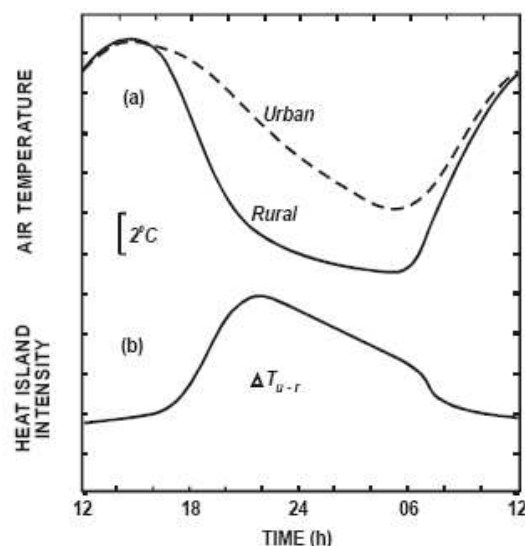
Figure 1. Schematic depiction of the main components of the urban atmosphere.



**Obr. 8:** Schematický náčrt stavby městské atmosféry (zdroj: Voogt, 2004)

Zvýšený tepelný tok nad městem vytváří **městský tepelný ostrov** (urban heat island – UHI). UHI způsobuje pomalejší ochlazování vzduchu po západu slunce díky větší termální setrvačnosti než mimo město (Obr. 9). Rozdílná teplota nad městským a přírodním povrchem způsobuje místní větry, díky nasávání studenějšího vzduchu z okolí města nebo parku. Důsledky tepelného ostrova ve městě jsou i tání sněhu a méně mrazových dní v zimě a naopak více tropických dní v létě (Mills, 2007).

Vyšší denní teplota v mezní vrstvě může zvýšit tvorbu městského smogu, protože rostou emise znečišťujících látek a atmosférické fotochemické reakce. Tepelný ostrov může mít také přímý vliv na lidské zdraví, protože umocňuje sílu tzv. **horkých vln** – období pěti a více dnů s teplotou alespoň 5 °C nad dlouhodobým průměrem za období 1961–1990 (Frich, 2002; např. v roce 2003 – viz Obr. 10), při kterých je větší riziko úmrtí z přehřátí, zejména u starších obyvatel města, a také vytváří podmínky vhodné pro šíření nemocí (Voogt, 2004).



**Obr. 9:** Vývoj intenzity městského tepelného ostrova během dne (zdroj: Mills, 2004)

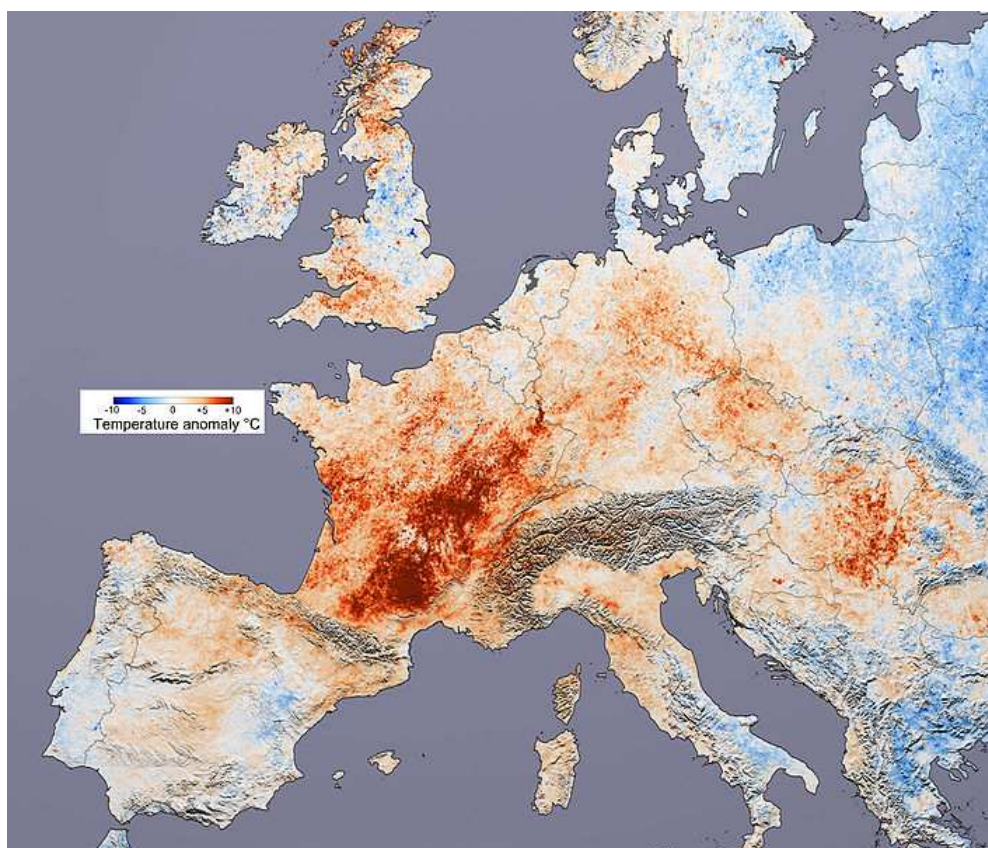
**Intenzita tepelného ostrova** je dána rozdílem teplot vzduchu nad centrem města a nad přirozeným povrchem (Mills, 2007). V noci intenzita v UCL dosahuje rozmezí 1 až 3 °C, ale za příhodných podmínek může dosahovat až 12 °C. V UBL je udržována více konstantní intenzita ve dne i v noci (~ 1,5 až 2 °C). Při povrchu města je obvykle intenzita nejvýraznější během dne, kdy silné solární záření může způsobit větší rozdíly mezi suchými a vlhkými povrchy, zastíněnými povrchy nebo povrchy porostlými vegetací (Voogt, 2004).

Faktory ovlivňující výskyt a intenzitu tepelného ostrova podle Voogta (2004):

- *počasí* – mocnost tepelného ostrova je největší za jasného a bezvětrného počasí. Zvýšená větrnost více míchá vzduch a snižuje efekt tepelného ostrova. Zvýšená oblačnost snižuje radiační ochlazování v noci a také snižuje sílu tepelného ostrova. Sezónní výkyvy v počasí mají vliv na výskyt a rozsah tepelného ostrova,
- *geografická poloha* – ovlivňuje klima a topografii oblasti, jakož i vlastnosti okolí města. Regionální nebo místní povětrnostní vlivy, jako jsou například místní větrné systémy, mohou mít dopad na tepelný ostrov. Například v přímořských městech může dojít k ochlazování jejich vzduchu v létě, kdy je vzduch nad mořem chladnější než nad pevninou a je nasáván do města. U měst ve vlhkém teplém klimatu, která jsou obklopena vlhkými přírodními povrchy, může pomalejší ochlazování těchto ploch snižovat sílu městského tepelného ostrova,
- *roční a denní období* – v zimním období má největší podíl na intenzitě tepelného ostrova antropogenní teplo (doprava, průmysl, vytápění budov), kdežto v letním období se

výrazněji prosazuje akumulace tepla ze slunečního záření. Podle Beranové a Hutha (2003) je ročním obdobím s nejvyšší průměrnou intenzitou léto - před jarem, podzimem a zimou (více viz další text). Vývoj intenzity během dne znázorňuje Obr. 9. Největší intenzita nastává po západu slunce, kdy se městský povrch ochlazuje mnohem pomaleji než přírodní a prohřívá i spodní části městské atmosféry. Nejmenší intenzita nastává kolem poledne.

- *vzhled města* – materiály, z jakých jsou stavěny budovy, povrchové vlastnosti města, rozměry a hustota staveb a množství městské zeleně,
- *funkce města* – produkce znečišťujících látek do ovzduší, teplo z využívání energie a využívání vody zavlažováním. Antropogenní teplo vznikající především spalováním fosilních paliv je důležitým faktorem vzniku a podoby tepelného ostrova. Antropogenní produkce tepla má obvykle největší vliv během zimní sezony v centru města. V některých městech může mít významný podíl na antropogenním teple v létě velká spotřeba energie na ochlazování budov klimatizacemi.



**Obr. 10:** Horká vlna v Evropě v roce 2003 (zdroj: wikipedia.org)

## 3 METODY ZPRACOVÁNÍ

### 3.1 Zdroje dat

Teplotní řady z českých stanic pochází od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Průměrné měsíční hodnoty od roku 1998 jsou volně přístupné na stránkách ČHMÚ. Data z německých stanic byla volně přístupná na stránkách německého meteorologického ústavu Deutscher Wetterdienst (DWD).

Data o hodnotách indexu severoatlantské oscilace jsou k dispozici na stránkách pana Jima Hurrela (<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>).

### 3.2 Homogenita dat

U teplotních řad byl s kladným výsledkem proveden test homogenity dat pomocí metody podvojně součtové čáry (podle Stieblingové, 2004). Data z Karlova s Ruzyní stejně tak data z německých stanic vyšla jako relativně homogenní a tedy použitelná pro práci. Výsledné grafy testů homogenity dat jsou k dispozici jako Příloha 4.

### 3.3 Metody a výpočty

Teplotní řady českých stanic poskytovaly údaje teplot měřené v 7, 14 a 21 hodin. Průměrnou denní teplotu ( $T_{prum}$ ) bylo třeba vypočítat známým vzorcem  $T_{prum} = (T_7 + T_{14} + 2 * T_{21}) / 4$ . Data z německých stanic obsahovala i průměrné denní teploty. Ty jsou ovšem vypočítané z měření v 7:30, 14:30 a 21:30 hodin. Od dubna roku 2001 je denní průměr německých teplot počítán z hodnot za každou celou hodinu (dwd.de). Pro účely práce ovšem postačovaly průměrné hodnoty za jednotlivá roční období v každém roce, které byly vypočítány z denních průměrů respektive z nich vypočítaných měsíčních průměrů. Ty bylo nutné spočítat u dat do roku 1990 (německé stanice) resp. 1997 (české stanice). Z novějších let byly měsíční průměry k dispozici na stránkách DWD resp. ČHMÚ.

Jak bylo uvedeno, data byla k dispozici z let 1961–2008. Ovšem u všech grafů znázorňujících výsledky ze zimy resp. chladného půlroku (říjen–březen) je letopočtová řada o rok kratší z důvodu náležitosti zimy do dvou roků. Letopočet zimy je určen rokem měsíce ledna v daném období. Takže například zima roku 1962 odpovídá ve skutečnosti období prosinec 1961–únor 1962 a všechny grafy za období 1962–2008 tedy odpovídají období prosinec 1961–listopad 2008.

U teplotních údajů byla provedena lineární regresní analýza za účelem porovnání



rychlosti oteplování jednotlivých stanic.

Regresní analýza „popisuje závislost dvou číselných proměnných, z nichž jedna je příčina (vysvětlující proměnná) a jedna je důsledek (vysvětlovaná proměnná)“ (Popelka, 2008). Regresní lineární přímka má obecný tvar  $y = a \cdot x + b$ , kde hodnota  $a$  je směrnici přímky a udává její sklon (o kolik se změní hodnota  $y$  za jednotku  $x$ ) a hodnota  $b$  je průsečík regresní přímky s osou  $y$ . Vhodnost a spolehlivost použité metody určuje koeficient determinace  $R^2$  (v programu MS Excel hodnota spolehlivosti  $R$ ). Ten vystihuje, jak těsně data přiléhají k přímce a určuje „jaké procento měnlivosti pozorovaných hodnot je vysvětleno odhadnutým modelem“ (Popelka, 2008). Hodnota koeficientu nabývá hodnot od 0 do 1. Čím více se blíží k jedné, tím je model vhodnější (Popelka, 2008).

Pro analýzu intenzity městských tepelných ostrovů byly teplotní údaje z jednotlivých stanic přepočteny vždy na úroveň nadmořské výšky stanice v centru města – u německých stanic na úroveň stanice Tempelhof v Berlíně, u pražských stanic na úroveň nadmořské výšky Karlova. „V troposféře je běžně pozorovaný pokles teploty vzduchu s výškou o hodnotu  $0,65^\circ\text{C}$  na 100 m výšky“ (Honsová, 2006). Proto jsem pro redukci teplot použil vzorec  $t_0 = (t \pm 0,65h)$ , kde  $h$  je nadmořská výška v hektametrech ( $\text{m} \cdot 10^{-2}$ ).

U každého městského tepelného ostrova bylo provedeno více výpočtů intenzity. Pro směrodatnější výsledek je dobré od teploty vzduchu stanice v centru města odečítat průměr teplot více příměstských stanic. Z toho důvodu byla u Prahy kromě Ruzyně použita data z dalších dvou stanic, které leží poblíž Prahy a jejichž hodnoty jsou k dispozici na stránkách ČHMÚ. Těmi jsou Doksany a Semčice (Tab. 1). U těchto stanic byl ale přístup pouze k datům od roku 1998 (Grafy 7a,b a 8a,b). Pro Berlín byla jako třetí příměstská stanice (pro stejné období) použita stanice v Lindenbergu, ležícím jihovýchodně od Berlína (Grafy 7c a 8c).

Pro dlouhodobější regresní analýzu vývoje intenzity bylo použito méně datových řad z důvodu nedostupnosti dlouhodobějších dat ze stanic v Doksanech a Semčicích. Proto za období 1961–2008 je intenzita v Praze počítána jen jako rozdíl Kralova a Ruzyně a v Berlíně je počítána bez Lindenbergu (Tab. 2).

Na závěr byla v MS Excel provedena korelace (*CORREL*) jednotlivých teplotních řad s řadou zimního indexu severoatlantské oscilace za účelem zjištění, v jaké míře je teplota vzduchu na jednotlivých stanicích ovlivněna severoatlantskou oscilací (viz níže). Korelační koeficient určuje sílu závislosti dvou číselných proměnných. Nabývá hodnot  $<-1;1>$ . Čím více je koeficient vzdálen od nuly, tím více jsou proměnné závislé. Pokud je hodnota koeficientu kladná, jedná se o pozitivní závislost, pokud je záporná, jedná se o negativní závislost (Popelka, 2008).

**Tab. 1:** *Poloha všech použitých stanic (zdroj: DWD a ČHMÚ)*

STANICE	m n. m.	s. š.	v. d.
Berlin-Tempelhof	49	52°28'12"	13°24'00"
Postupim	81	52°22'48"	13°03'36"
Lindenberg	112	52°12'00"	14°07'00"
Neuruppin	38	52°54'36"	12°48'00"
STANICE	m n. m.	s. š.	v. d.
Praha-Karlov	261	50°04'03"	14°25'07"
Praha-Ruzyně	364	50°06'03"	14°15'28"
Doksany	158	50°27'31"	14°10'14"
Semčice	234	50°22'02"	15°00'16"

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Teplota vzduchu

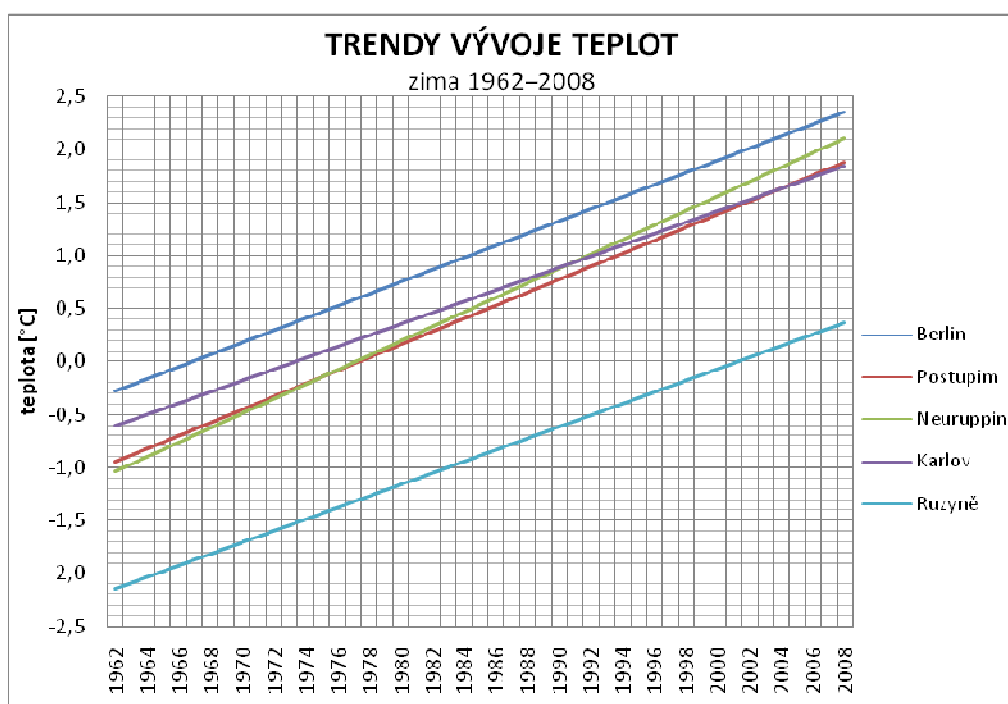
Dlouhodobě nejteplejší z pozorovaných stanic jsou městské stanice na Karlově a Tempelhofu. Naopak nejchladnější je stanice v Ruzyni. Je to dáno nejvyšší nadmořskou výškou a zároveň velkou větrností daného místa (viz Tab. 2). Nejteplejším měsícem je v třicetiletém průměru na všech stanicích červenec, nejchladnějším leden.

**Tab. 2:** Poloha měřicích stanic, dlouhodobé teplotní průměry 1961–1990 a průměrná rychlost větru za toto období (zdroj: DWD a ČHMÚ)

STANICE	m n.m.	s.z.š.	v.z.d.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok	vítr m/s
Berlin-Tempelhof	49	52°28'12"	13°24'00"	-0,2	0,8	4,2	8,6	13,9	17,4	18,8	18,4	14,6	10,0	4,9	1,4	9,4	2,8
Postupim	81	52°22'48"	13°03'36"	-0,9	0,2	3,7	8,0	13,2	16,6	17,9	17,5	13,9	9,4	4,2	0,7	8,7	2,5
Neuruppin	38	52°54'36"	12°48'00"	-0,8	0,0	3,1	7,5	12,8	16,2	17,5	17,3	13,7	9,4	4,5	0,9	8,5	2,3
Praha-Karlov	261	50°04'03"	14°25'07"	-0,9	0,8	4,6	9,2	14,2	17,5	19,1	18,5	14,7	9,7	4,4	0,9	9,4	2,6
Praha-Ruzyně	364	50°06'03"	14°15'28"	-2,4	-0,9	3,0	7,7	12,7	15,9	17,5	17,0	13,3	8,3	2,9	-0,6	7,9	4,4

#### 4.1.1 Trendy vývoje teploty vzduchu za jednotlivá roční období

Následující grafy znázorňují lineární trendy vývoje průměrných teplot na jednotlivých stanicích za jednotlivá roční období v letech 1961–2008. Hodnoty koeficientu determinace nenabývají příliš vysokých hodnot z důvodu velké kolísavosti teplot.

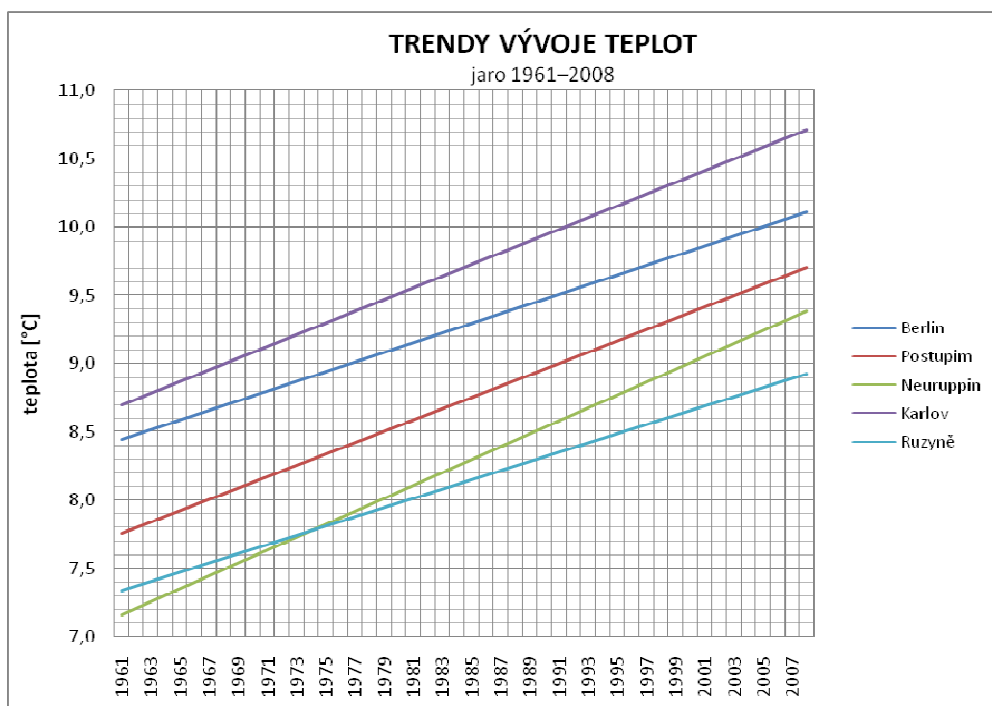


**Graf 1:** Lineární trendy zimních teplot 1962–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 3:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 1 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61 – 90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0572x - 0,3404$	$R^2 = 0,1235$	0,7
Postupim	$y = 0,0614x - 1,0091$	$R^2 = 0,1406$	0,0
Neuruppin	$y = 0,0682x - 1,105$	$R^2 = 0,1622$	0,0
Praha-Karlov	$y = 0,0531x - 0,6567$	$R^2 = 0,1359$	0,3
Praha-Ruzyně	$y = 0,0544x - 2,1915$	$R^2 = 0,1318$	-1,3

Graf 1 a Tab. 3 znázorňují trendy vývoje teplot v zimě v letech 1962–2008. Dlouhodobě nejteplejší je v zimním období Berlín (0,7 °C) před Karlovem (0,3 °C). Naopak nejchladnější je v zimě Ruzyně (–1,3 °C). Všechny stanice vykazují v zimě během posledních 40 let oteplení a to největší ze všech ročních období. U německých stanic vykazuje největší oteplení stanice Neuruppin – v průměru 0,0682 °C za rok –, což je o 0,011 °C více než hodnota stanice Tempelhof (0,0572 °C/rok). Stanice Postupim nevykazuje takové oteplení jako Neuruppin, ale hodnota je také vyšší než Berlín (0,0614 °C/rok). V Praze se rozdíl mezi Ruzyní a Karlovem prakticky nemění. Rozdíl mezi stanicemi je pouhých 0,0013 °C/rok ve prospěch Ruzyně.

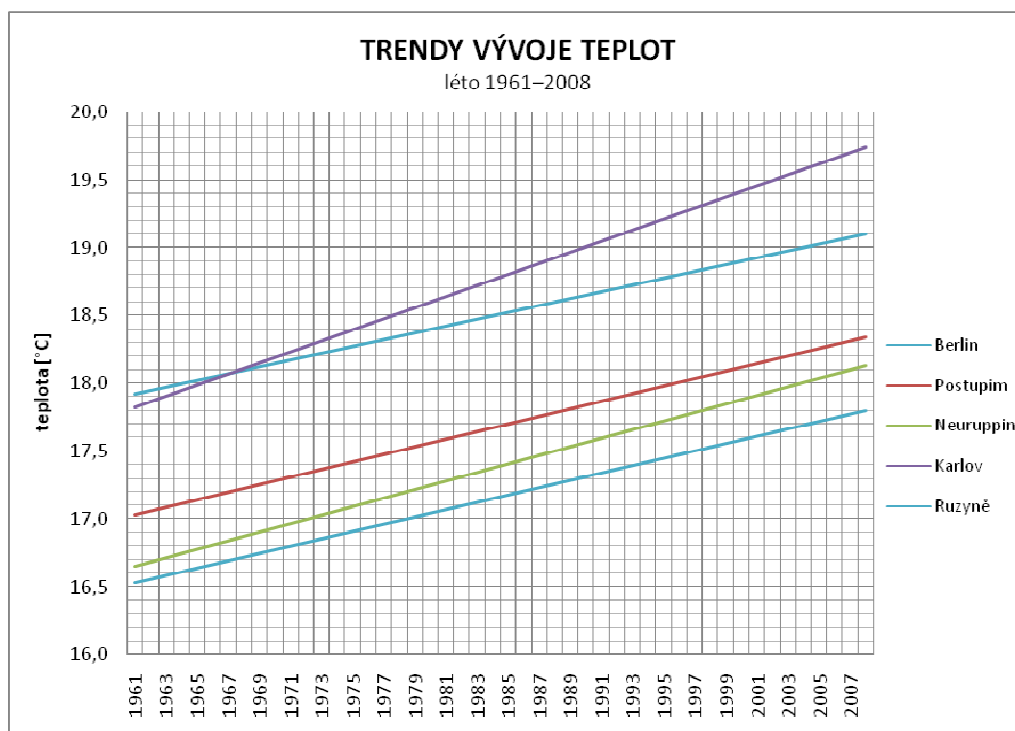


**Graf 2:** Lineární trendy jarních teplot 1961–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 4:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 2 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61 – 90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0354x + 8,411$	$R^2 = 0,1982$	8,9
Postupim	$y = 0,0413x + 7,7188$	$R^2 = 0,263$	8,3
Neuruppin	$y = 0,0472x + 7,1161$	$R^2 = 0,3007$	7,8
Praha-Karlov	$y = 0,0428x + 8,6572$	$R^2 = 0,1359$	9,3
Praha-Ruzyně	$y = 0,0337x + 7,3075$	$R^2 = 0,1743$	7,8

Na jaře (Graf 2, Tab. 4) je z dlouhodobého hlediska Karlov teplejší než Tempelhof (9,3 vs. 8,9 °C). Nejchladnější jsou Ruzyně a Neuruppin (shodně 7,8 °C). Jarní hodnoty vykazují nižší průměrné oteplení za rok než zimní. U Německa je situace ohledně oteplování obdobná jako v zimě. Opět největší oteplení vykazuje Neuruppin (0,0472 °C/rok) a dohání Berlín o 0,0118 °C/rok. Postupim se v průměru otepluje o 0,0413 °C ročně a Berlín jen o 0,0354 °C. V Praze už jarní trendy odpovídají předpokladům, že stanice v centru by měla vykazovat větší oteplování než stanice na okraji města. Rozdíl mezi Karlovem (0,0428 °C/rok) a Ruzyní (0,0337 °C/rok) se ročně zvyšuje o 0,0091 °C.

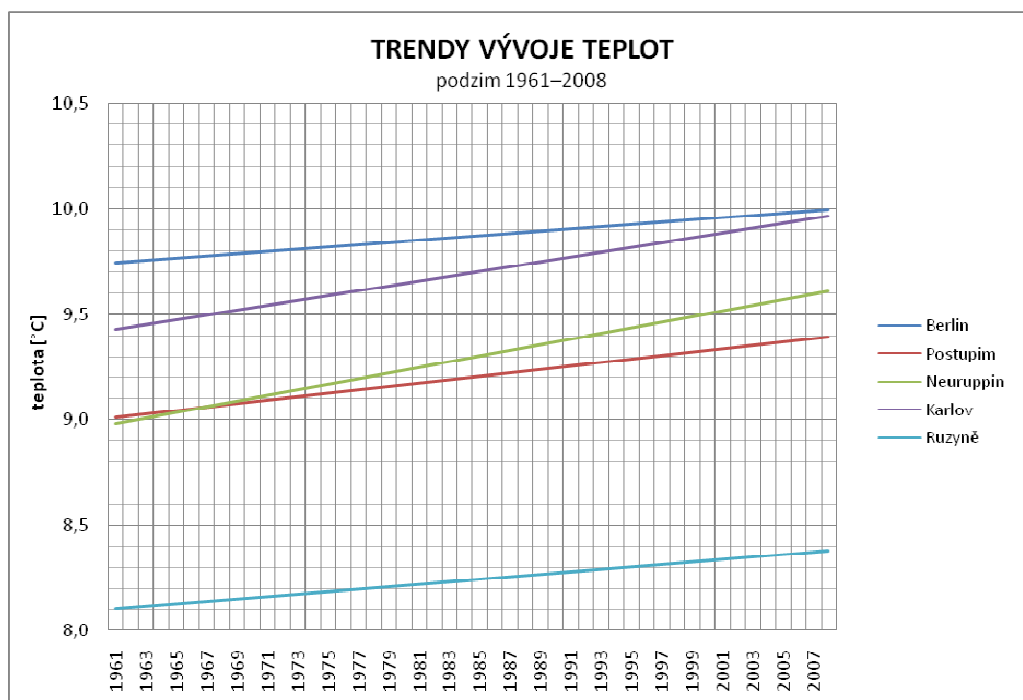


**Graf 3:** Lineární trendy letních teplot 1961–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 5:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 3 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61 – 90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0251x + 17,895$	$R^2 = 0,1058$	18,2
Postupim	$y = 0,0279x + 17,002$	$R^2 = 0,1314$	17,3
Neuruppin	$y = 0,0314x + 16,621$	$R^2 = 0,1684$	17,0
Praha-Karlov	$y = 0,0409x + 17,783$	$R^2 = 0,2911$	18,4
Praha-Ruzyně	$y = 0,0271x + 16,501$	$R^2 = 0,1366$	16,8

V létě (Graf 3, Tab. 5) je nejchladnější stanicí opět Ruzyně (16,8 °C). Na Karlově, který je naopak nejteplejší, je téměř o dva Celsiovy stupně tepleji (18,4 °C). V Německu je v dlouhodobém průměru nejchladnější Neuruppin (17 °C) a nejteplejší Tempelhof (18,2 °C). V Německu vykazuje největší oteplování opět Neuruppin (0,0314 °C/rok), což je o 0,0063 °C/rok více než v Berlíně (0,0251 °C/rok). Roční průměrný teplotní přírůstek Postupimi je 0,0279 °C. Karlov je dokonce v létě nejvíce se oteplovající stanicí (z pozorovaných) a oproti Ruzyni se otepluje v průměru o 0,0138 stupně za rok.

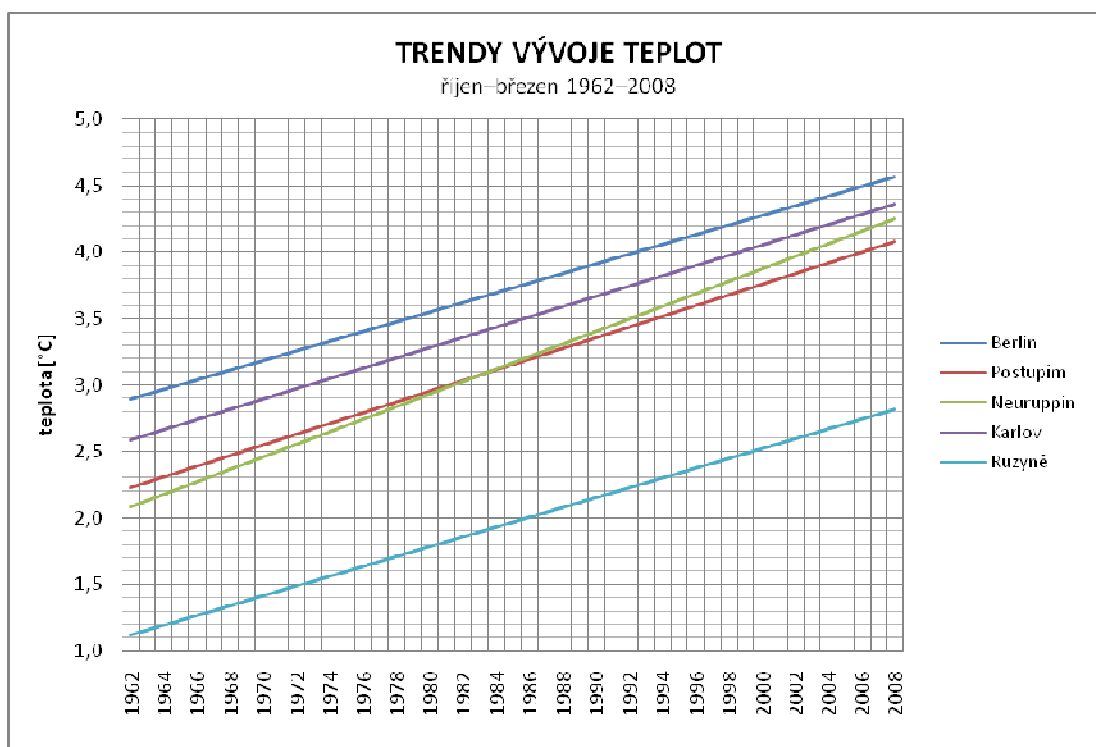


**Graf 4:** Lineární trendy podzimních teplot 1961–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 6:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 4 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61 – 90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0053x + 9,7419$	$R^2 = 0,0056$	9,8
Postupim	$y = 0,0081x + 9,0043$	$R^2 = 0,0137$	9,2
Neuruppin	$y = 0,0134x + 8,9678$	$R^2 = 0,0399$	9,2
Praha-Karlov	$y = 0,0115x + 9,416$	$R^2 = 0,0287$	9,6
Praha-Ruzyně	$y = 0,0059x + 8,099$	$R^2 = 0,0079$	8,2

Rozkolísanost průměrných podzimních teplot mezi jednotlivými stanicemi je ze všech ročních období nejmenší (Tab. 6). Nejteplejší je na podzim Berlín (9,8 °C). I na dalších stanicích přesahuje průměrná teplota devět stupňů celsia. Jedinou výjimkou je Ruzyně (8,2 °C), která se od ostatních stanic liší minimálně o jeden stupeň. I trendy narůstání teploty jsou na podzim nejpomalejší (Graf 4). Z německých stanic se nejvíce otepluje Neuruppin a to o 0,0134 °C/rok. To je o 0,0053 °C/rok respektive 0,0081 °C/rok více než stanice v Postupimi resp. Berlíně. V Praze se Karlov (0,0115 °C/rok) otepluje o 0,0056 Celsiusových stupňů za rok rychleji než Ruzyně (0,0059 °C/rok).

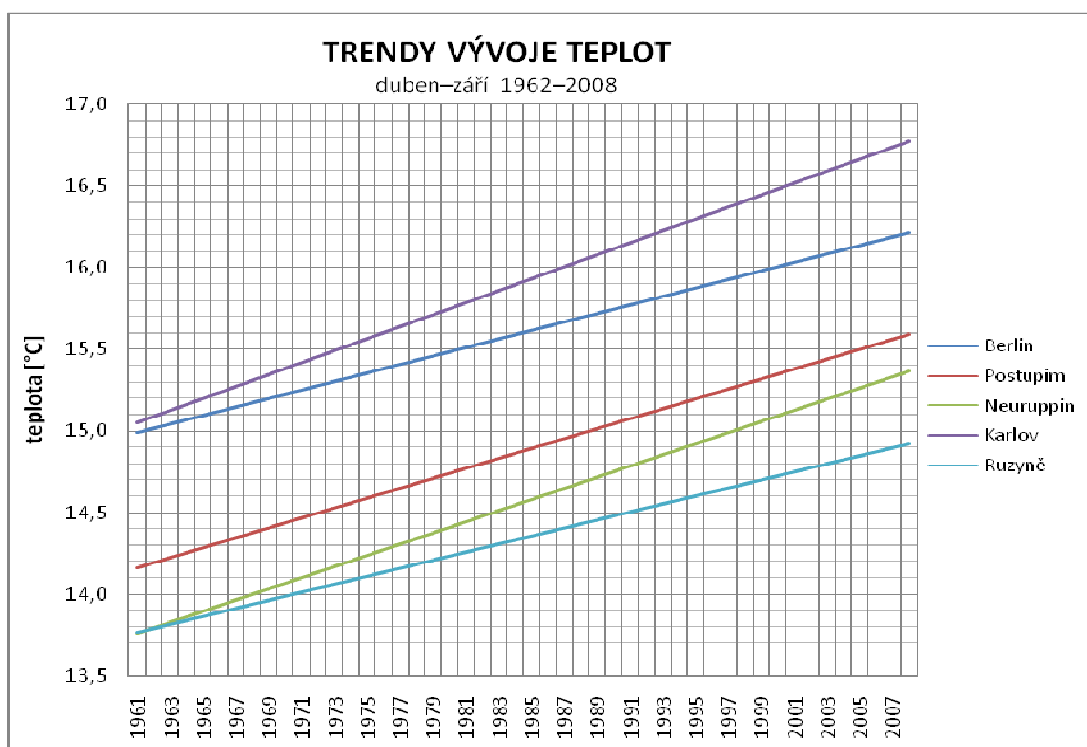


**Graf 5:** Lineární trendy teplot „chladného půlroku“ 1962–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 7:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 5 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61–90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0365x + 2,8544$	$R^2 = 0,1341$	3,5
Postupim	$y = 0,0402x + 2,1862$	$R^2 = 0,1615$	2,9
Neuruppin	$y = 0,0473x + 2,033$	$R^2 = 0,2027$	2,9
Praha-Karlovy	$y = 0,0385x + 2,5511$	$R^2 = 0,1924$	3,3
Praha-Ruzyně	$y = 0,037x + 1,0821$	$R^2 = 0,1684$	1,7

Pokud se podíváme na delší časová období – teplý a chladný půlrok –, neukáže se nám nic nového. V chladném půlroce (říjen – březen) je nejteplejší Berlín (3,5 °C viz Tab. 7) před Karlovem (3,3 °C). Jednoznačně nejchladnější je Ruzyně (1,7 °C). Nejrychlejší trend (Graf 5) v oteplování opět vykazuje Neuruppin (0,0473 °C/rok), který se otepluje každý chladný půlrok v průměru o 0,0108 °C více než Berlín a o 0,0071 °C více než Postupim. Rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní se v chladném půlroce téměř nemění. Stanice Karlov vykazuje o 0,0015 °C/rok rychlejší oteplování.



**Graf 6:** Lineární trendy teplot „teplého půlroku“ 1962–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)



**Tab. 8:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 6 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61–90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0261x + 14,964$	$R^2 = 0,2026$	15,3
Postupim	$y = 0,0303x + 14,134$	$R^2 = 0,262$	14,5
Neuruppin	$y = 0,0342x + 13,727$	$R^2 = 0,3296$	14,2
Praha-Karlov	$y = 0,0367x + 15,012$	$R^2 = 0,3284$	15,5
Praha-Ruzyně	$y = 0,0246x + 13,739$	$R^2 = 0,1553$	14,0

V teplém půlroce (od dubna do září) nejsou rozdíly mezi teplotami tak veliké (Tab. 8). Nejteplejší je Karlov (15,5 °C) a Berlín (15,3 °C). Nejchladnější je tradičně Ruzyně (14,4 °C). I trend oteplování je u většiny stanic pomalejší (Graf 6) o více než 0,01 stupně za rok oproti chladnému půlroku. U stanice Karlov činí tento rozdíl ovšem jen 0,0018 °C/rok. V Německu se nejvíce otepluje Neuruppin v průměru o 0,0342 °C za rok. To je o 0,0081 °C ročně více než Berlín a o 0,0039 °C více než Postupim. Karlov v Praze se otepluje ještě více než Neuruppin, a sice o 0,0367 °C za rok. Ruzyně vykazuje trend o 0,0121 °C/rok pomalejší.

#### 4.1.2 Shrnutí výsledků

V Německu vykazují data přesně opačné výsledky oproti předpokladům. Nejpomaleji se otepluje stanice v Berlíně a nejrychleji stanice v Neuruppinu a to ve všech ročních obdobích. I Postupim se otepluje rychleji než stanice Tempelhof, ale zdaleka ne tak markantně jako Neuruppin. Nejvíce se teplotní rozdíl mezi Berlínem a Neuruppinem snižuje na jaře a v zimě (0,0118 resp. 0,011 °C/rok). Růst průměrné teploty je na všech stanicích největší v zimě (Graf 1) naopak nejmenší na podzim

V Praze, hlavně v létě a na jaře, odpovídají výsledky předpokladům, že centrum města se otepluje rychleji než okraj. V chladném půlroce zůstávají rozdíly teplot v podstatě stejné. Růst teplot je ovšem v zimě největší a to o přibližně 0,05 °C za rok na obou stanicích.

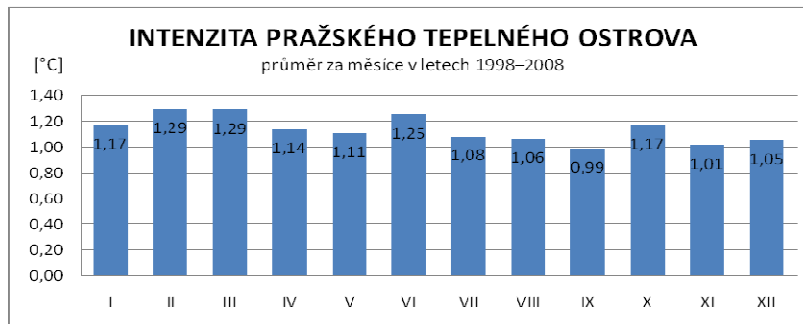
Rychlejší trend oteplování vykazují všechny stanice v chladném půlroce. V Německu jsou rozdíly mezi trendy Berlína a Postupimí v obou půlrocích přibližně stejné. Rozdíl mezi Berlínem a Neuruppinem je ale v zimě celkem výrazně větší než v létě (0,0108 °C ročně v chladném půlroce oproti 0,0081 stupňů v teplém). Oproti tomu rozdíl mezi trendem růstu Karlova a Ruzyně je výrazně větší v teplém půlroce (0,0015 vs. 0,0121 °C/rok).

Souhrnná tabulka teplot za jednotlivé měsíce je v Příloze 2.

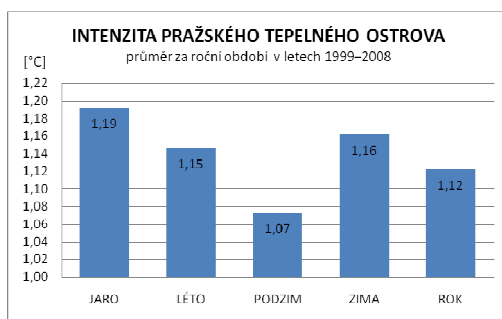
## 4.2 Intenzita městského tepelného ostrova Prahy a Berlína

### 4.2.1 Analýza vývoje intenzity

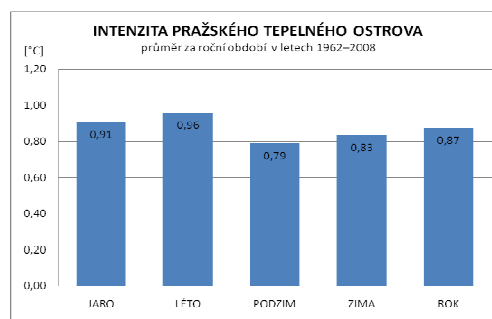
a



b



c

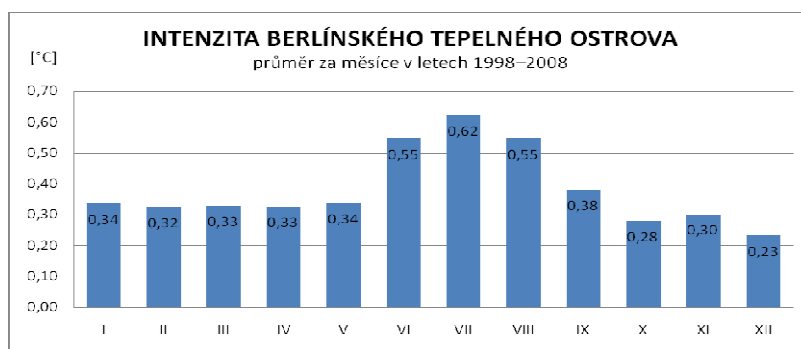


**Graf 7:** Intenzita pražského tepelného ostrova (a) za jednotlivé měsíce v období 1998–2008 (b) za roční období v letech 1999–2008 (c) za roční období v letech 1962–2008 (zdroj: ČHMÚ)

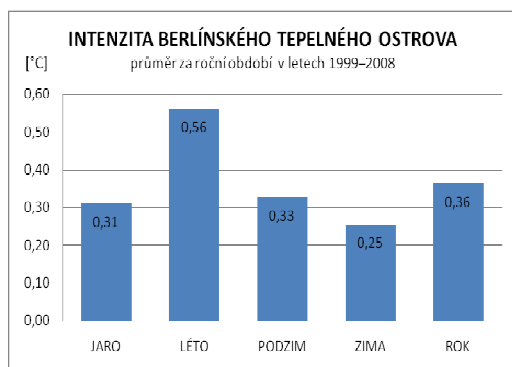
Intenzita pražského tepelného ostrova za posledních deset let byla počítána jako rozdíl teploty stanice Karlov a průměru teplot (na výšku stanice Karlov přepočítaných) ze stanic Doksany, Ruzyně a Semčice. Jako měsíce s největší intenzitou (Graf 7a) za období 1998 až 2008 se shodně jeví únor a březen, kdy Karlov je průměrně o 1,29 °C teplejší. O něco nižší rozdíl je v šestém měsíci roku (1,25 °C). Naopak jako měsíce s nejnižší intenzitou tepelného ostrova se jeví září (0,99 °C) a listopad (1,01 °C). Z pohledu ročních (Graf 7b) období vykazuje v krátkodobé minulosti největší intenzitu jaro (1,19 °C) před zimou (1,16 °C) a létem (1,15 °C), nejmenší podzim (1,07 °C).

Hodnoty intenzity za období 1961 (resp. 1962) až 2008 (Graf 7c) jsou počítány, jak už bylo uvedeno výše, pouze jako rozdíl Karlova a Ruzyně (přepočítané na nadmořskou výšku Karlova). Z těchto hodnot největší intenzitu vykazuje léto (0,96 °C) a nejmenší podzim (0,79 °C). Celoroční průměrná intenzita za období 1962–2008 je 0,87 °C oproti 1,12 °C za období 1999–2008. I z toho se zdá být patrné, že v závěru sledovaného období má intenzita pražského tepelného ostrova tendenci se zvyšovat (více viz kapitola 5.2)

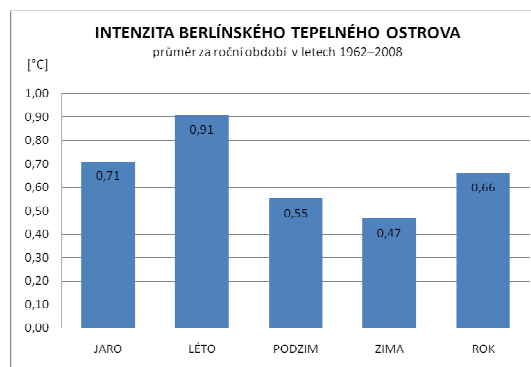
a



b



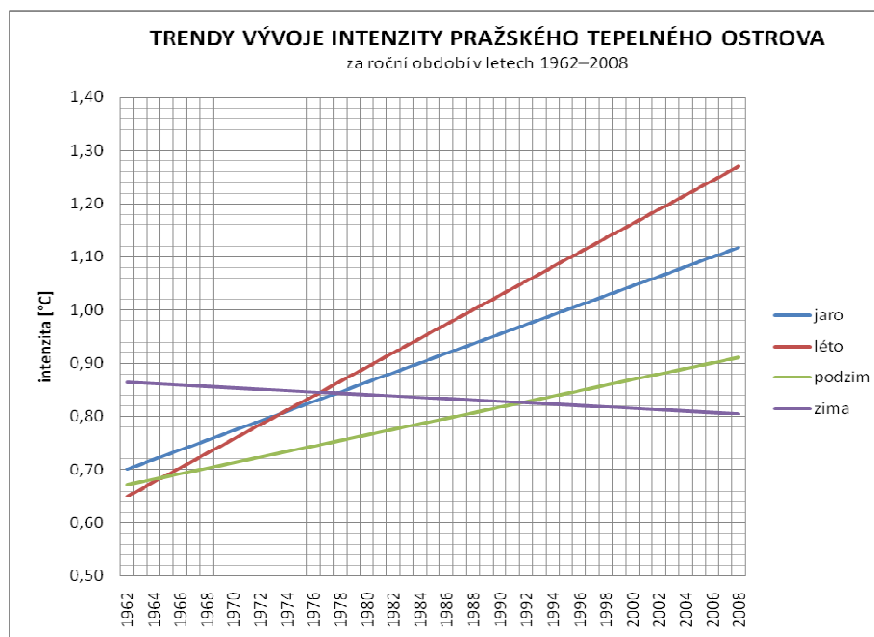
c



**Graf 8:** Intenzita berlínského tepelného ostrova (a) za jednotlivé měsíce v období 1998–2008 (b) za roční období v letech 1999–2008 (c) za roční období v letech 1962–2008 (zdroj: DWD)

Berlín vykazuje hodnoty intenzity tepelného ostrova v letech 1998–2008 (počítané z příměstských stanic Postupim, Neuruppin a Lindenberg) méně vyrovnané. Zřetelně zde vystupují hodnoty v letním období (Graf 8a). Největší intenzitu vykazuje červenec (0,62 °C) následován červnem a srpnem (shodně 0,55 °C). Nejmenší intenzitu vykazuje prosinec (0,23 °C). Co se týče ročních období (Graf 8b), tak největší intenzitu vykazuje berlínský tepelný ostrov v létě (0,56 °C) a nejmenší v zimě (0,25 °C).

Na rozdíl od Prahy vykazuje Berlín za delší období (1962–2008) větší průměrnou intenzitu než za kratší období (1999–2008). To je důsledek již zmíněného pomalejšího oteplování Berlína než Neuruppinu a Postupimi. Za období 1962–2008 (Graf 8c) vykazuje největší intenzitu také léto (0,91 °C), ale v pořadí druhé roční období s největší intenzitou není podzim (jako za období 1999–2008), ale jaro (0,71 °C). Celoroční průměrná intenzita je za období 1999–2008 téměř poloviční oproti 1962–2008 (0,36 °C oproti 0,66 °C).

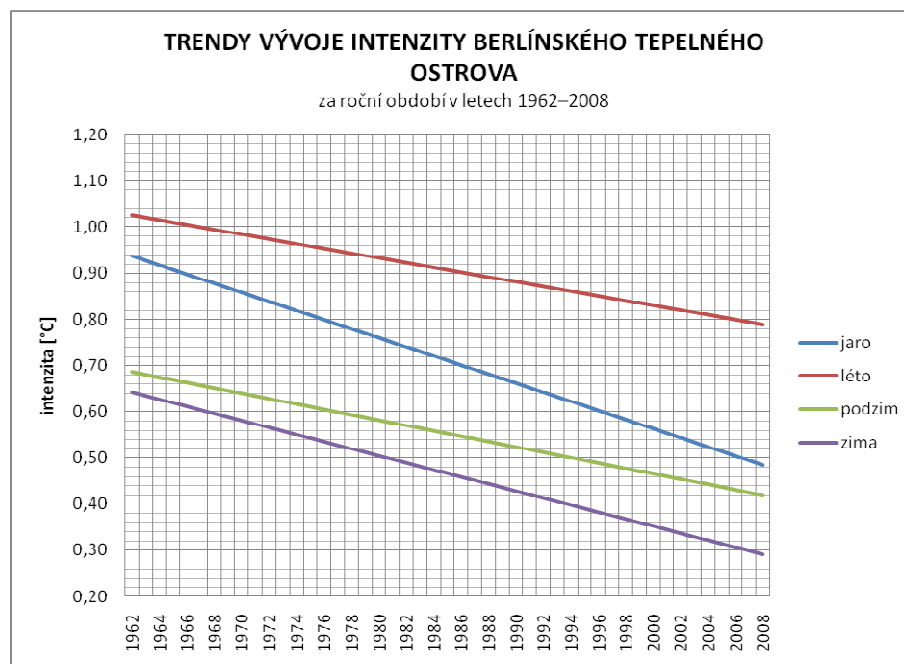


**Graf 9:** Lineární trendy intenzity pražského tep. ostrova za roční období 1962–2008 (zdroj: ČHMÚ)

**Tab. 9:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 9 (zdroj: ČHMÚ)

	rovnice regrese	koeficient determinace
jaro	$y = 0,0091x + 0,6918$	$R^2 = 0,3277$
léto	$y = 0,0135x + 0,6361$	$R^2 = 0,4198$
podzim	$y = 0,0052x + 0,6664$	$R^2 = 0,1162$
zima	$y = -0,0013x + 0,8653$	$R^2 = 0,0064$

Trendy v Grafech 9 a 10 se vztahují k dlouhodobému vývoji intenzity za období 1962–2008. Graf 9 znázorňuje trendy vývoje intenzity tepelného ostrova v Praze. Tento dlouhodobý vývoj intenzity je počítán jako rozdíl teplot Karlova a Ruzyně (převedené na nadmořskou výšku Karlova). Na rozdíl od Berlína můžeme sledovat mírný pokles pouze v zimním období (o 0,0013 °C/rok). V ostatních ročních obdobích intenzita narůstá. Největší nárůst intenzity vykazuje léto o 0,0135 °C ročně. To je o 0,0044 °C ročně více než na jaře a o 0,0083 °C za rok více než na podzim. Z grafu také vyplývá, že na počátku šedesátých let byl teplotní rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní v létě nejmenší a v zimě největší. O třicet let později to bylo přesně naopak. Nižší hladina spolehlivosti zejména u regresní přímky pro zimu je dána značným výkyvem intenzity v posledních dvou letech v zimním období (viz též Graf 15 a Tabulka 13). Průměr za rok činí 0,0066 °C/rok, to znamená vzrůst o 0,3 °C za sledované období (46 let).

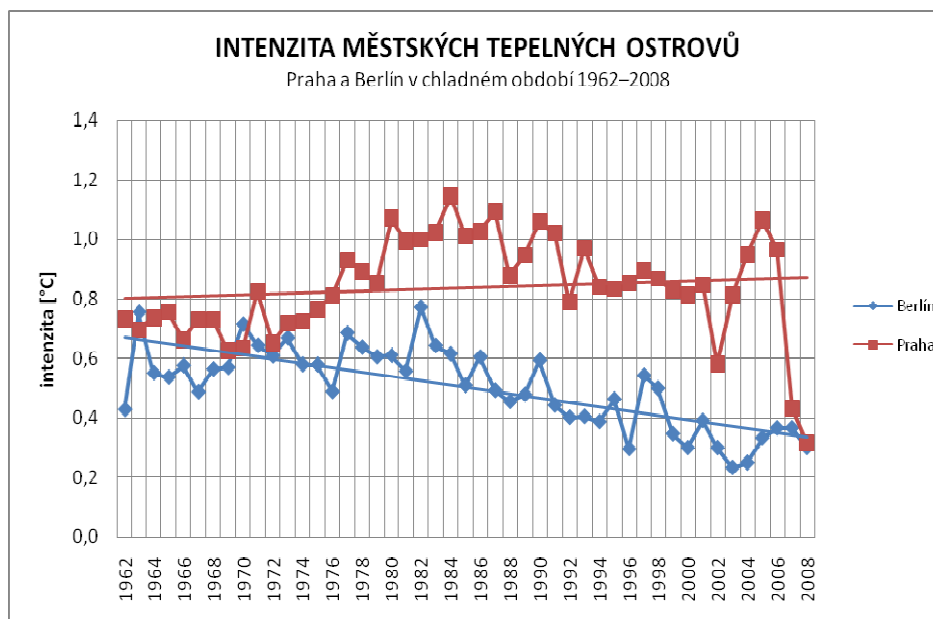


**Graf 10:** Lineární trendy intenzity berlínského tep. ostrova za roční období 1962–2008 (zdroj: DWD)

**Tab. 10:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 10 (zdroj: DWD)

	rovnice regrese	koeficient determinace
jaro	$y = -0,0098x + 0,9465$	$R^2 = 0,5737$
léto	$y = -0,0051x + 1,0307$	$R^2 = 0,1939$
podzim	$y = -0,0058x + 0,6916$	$R^2 = 0,3953$
zima	$y = -0,0076x + 0,6484$	$R^2 = 0,4267$

V případě Berlína se jedná o hodnoty ze „vzorce“ Berlín mínus průměr (Postupim + Neuruppin), kde teploty z Neuruppinu a Postupimi jsou upraveny o rozdíl v nadmořské výšce. U Berlína můžeme sledovat (Graf 10 a Tab. 10) pokles intenzity tepelného ostrova ve všech ročních obdobích. Nejvýraznější pokles se jeví na jaře ( $-0,0098$  °C/rok) naopak nejmenší pokles intenzity nastává téměř shodně v létě a na podzim ( $-0,0051$  resp.  $-0,0058$  °C/rok). Průměrný pokles činí  $-0,0071$  °C/rok, tedy  $0,33$  °C za sledované období (46 let).

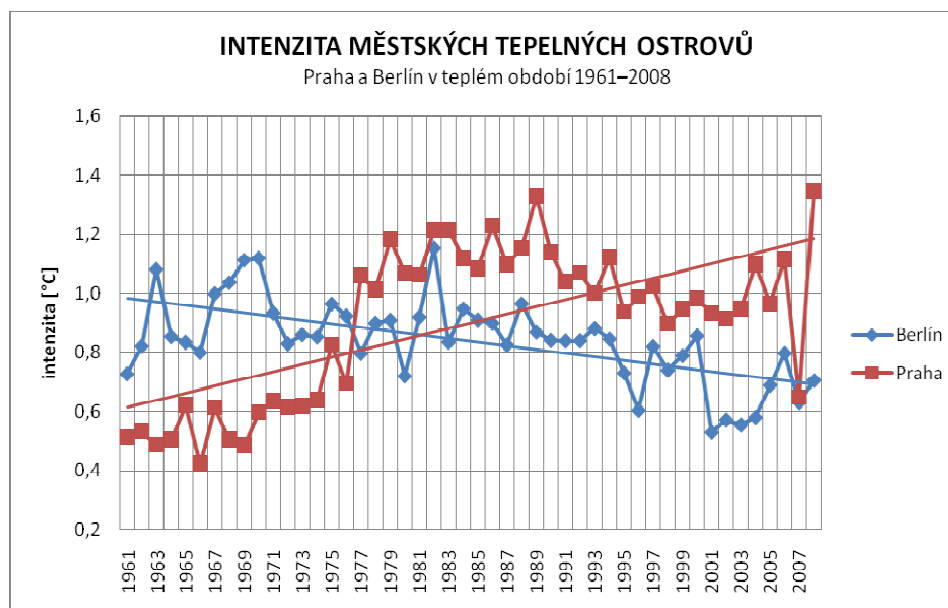


**Graf 11:** Vývoj intenzity městského tepelného ostrova v Praze a Berlíně v chladném období (říjen–březen) 1962–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 11:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 11 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

	rovnice regrese	koeficient determinace
Praha	$y = 0,0016x + 0,7995$	$R^2 = 0,0161$
Berlín	$y = -0,0073x + 0,6766$	$R^2 = 0,5334$

Při porovnání vývoje intenzity městských tepelných ostrovů za delší časová období se ukazuje, že v chladném půlroce (říjen–březen) intenzita pražského tepelného ostrova jen mírně roste, což je dáno zejména velmi nízkými hodnotami v posledních dvou letech (Graf 11). Intenzita berlínského tepelného ostrova klesá v chladném půlroce v průměru o  $0,0073\text{ }^{\circ}\text{C}$  za rok. U Prahy můžeme největší nárůst intenzity sledovat v 70. letech a největší hodnoty intenzity jsou zejména v 80. letech. To mimo jiné může souviset se zprovozněním Nuselského mostu (1973) a výrazným zesílením provozu v okolí Karlova. Důvodem poklesu intenzity v letech 2007 a 2008 je zejména pokles intenzity v zimě, což je zapříčiněno výrazně teplými zimami v letech 2007 a 2008, při kterých nebyl takový rozdíl mezi teplotami v Praze a mimo ni (viz Příloha 2). To je také nejspíš příčinou nižší hodnoty koeficientu determinace pro Prahu v Tab. 11. Svou roli mohl hrát také nárůst provozu na ruzyňském letišti.



**Graf 12:** Vývoj intenzity městského tepelného ostrova v Praze a Berlíně v teplém období (duben–září) 1962–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

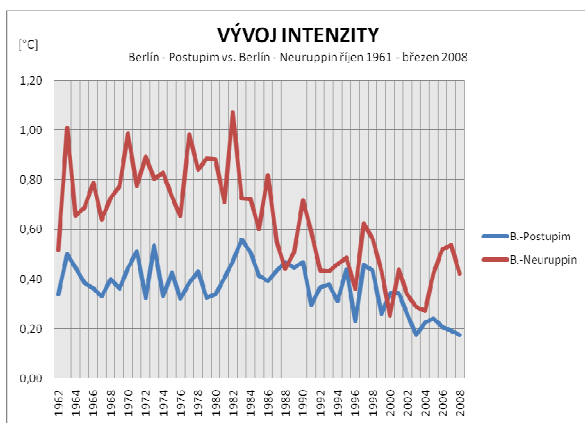
**Tab. 12:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 12 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

	rovnice regrese	koeficient determinace
Praha	$y = 0,0121x + 0,603$	$R^2 = 0,4291$
Berlín	$y = -0,0062x + 0,9896$	$R^2 = 0,3648$

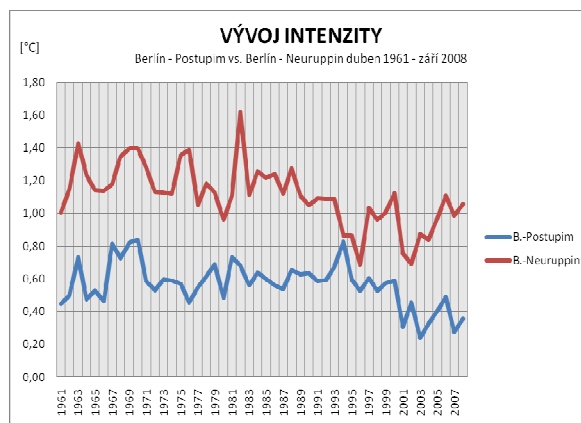
V teplém půlroce jsou rozdíly mezi Prahou a Berlínem ještě markantnější (Graf 12). Praha vykazuje meziroční růst intenzity o 0,0121 °C. Berlín vykazuje průměrný pokles o 0,0062 °C za rok. U Prahy je tedy růst intenzity mnohem výraznější než v chladném půlroce, naopak u Berlína je pokles intenzity pomalejší. U Prahy je vidět významný pokles intenzity v roce 2007. Rok 2008 byl ale naopak rok s největší intenzitou v teplém půlroce za sledované období. Až do roku 1976 vykazuje berlínský tepelný ostrov vyšší intenzitu než pražský. Vystřídání pozic je dáno nárůstem provozu v okolí Karlova, naopak poklesem letového provozu na letišti Tempelhof a zároveň velkým růstem teploty v Neuruppinu.

Graf 13 ukazuje, že teplotní náskok stanice Tempelhof se snižuje jak vůči Postupimi, tak vůči Neuruppinu. Zejména rozdíl mezi Tempelhofem a Neuruppinem klesá velmi výrazně v chladném půlroce (Graf 13a) a nejvíce se tento trend začíná projevovat v druhé polovině 80. let. To odpovídá opuštění letiště americkou armádou v roce 1985 a přenechání osobní dopravy, která však v té době byla z větší míry již přesunuta na jiná berlínská letiště. Nicméně výrazný pokles rozdílu teploty mezi Tempelhofem a Neuruppinem není způsoben jen poklesem intenzity tepelného ostrova na letišti, ale je z velké části zapříčiněn i oteplováním samotného Neuruppinu.

a



b



**Graf 13:** Vývoj intenzity Berlína vůči Postupimi (červeně) a Neuruppinu (modře) v (a) chladném a (b) teplém půlroce za období 1961–2008 (zdroj: DWD)

#### 4.2.2 Shrnutí analýzy

Intenzita pražského tepelného ostrova (na stanici Karlov) se po přepočítání teplot na stejnou nadmořskou výšku v průměru pohybuje kolem 0,8 °C v chladném půlroce. V teplém půlroce intenzita významně vzrostla v druhé polovině 70. let. Od té doby kolísá mezi 0,9 a 1,3 °C. V roce 2007 činil rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní pouze 0,6 °C. Takové hodnoty bylo dosaženo v teplém půlroce naposledy v roce 1973. Ve všech obdobích kromě zimy vykazuje intenzita Karlova vzestupný trend. Mírný pokles v zimě je způsoben anomálně malými zimními hodnotami intenzity v letech 2007 a 2008, kdy byly nezvyklé vysoké teploty na Ruzyni (Příloha 2).

Kromě klimatických příčin může mít na růst intenzity vliv i poloha stanice Karlov, která je poblíž severojižní magistrály. Teplotní rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní je největší v létě a na jaře, nejmenší na podzim. Teplotní rozdíly mezi Karlovem a průměrem stanic Doksany, Ruzyně a Semčice za posledních deset let jsou více vyrovnané a jako nejteplejší období vykazují jaro, před zimou a létem s minimálními rozdíly (viz Graf 7b).

Berlínský tepelný ostrov vykazuje ve všech ročních obdobích pokles intenzity, který však může být do značné míry zapříčiněn polohou berlínské stanice na letišti Tempelhof, tedy na místě málo pokrytém souvislým umělým povrchem. Další příčinou je celkem velký růst teploty v Neuruppinu. Rozdíl teploty mezi Berlínem a průměrem Neuruppinu a Postupimi (za období 1961–2008) je jednoznačně největší v létě a nejmenší v zimě. Intenzita za poslední desetileté období dosahuje v průměru pouze polovičních hodnot oproti období 1961–2008. Pokud porovnáme zvlášť vývoj rozdílu teplot mezi Berlínem a Neuruppinem a Berlínem a Postupimí, vyjde nám to, co bylo zřejmé již z trendů vývoje teplot. Rozdíl mezi Tempelhofem



a Neuruppinem klesá výrazněji než mezi Tempelhofem a Postupimí, a to zejména v chladném půlroce.

Průměrné hodnoty pro jednotlivá roční období jsou k dispozici v Příloze 3.

## 5 DISKUZE

### 5.1 Berlín

Z výsledků práce vyplývá, že průměrná teplota Berlína roste pomaleji, než průměrná teplota menší Prahy. Navíc podle grafů intenzita berlínského tepelného ostrova klesá, a to jak vůči průměrné hodnotě Neuruppinu a Postupimi, tak vůči každé ze stanic zvlášť. Tyto výsledky, jsou ale zkresleny několika faktory.

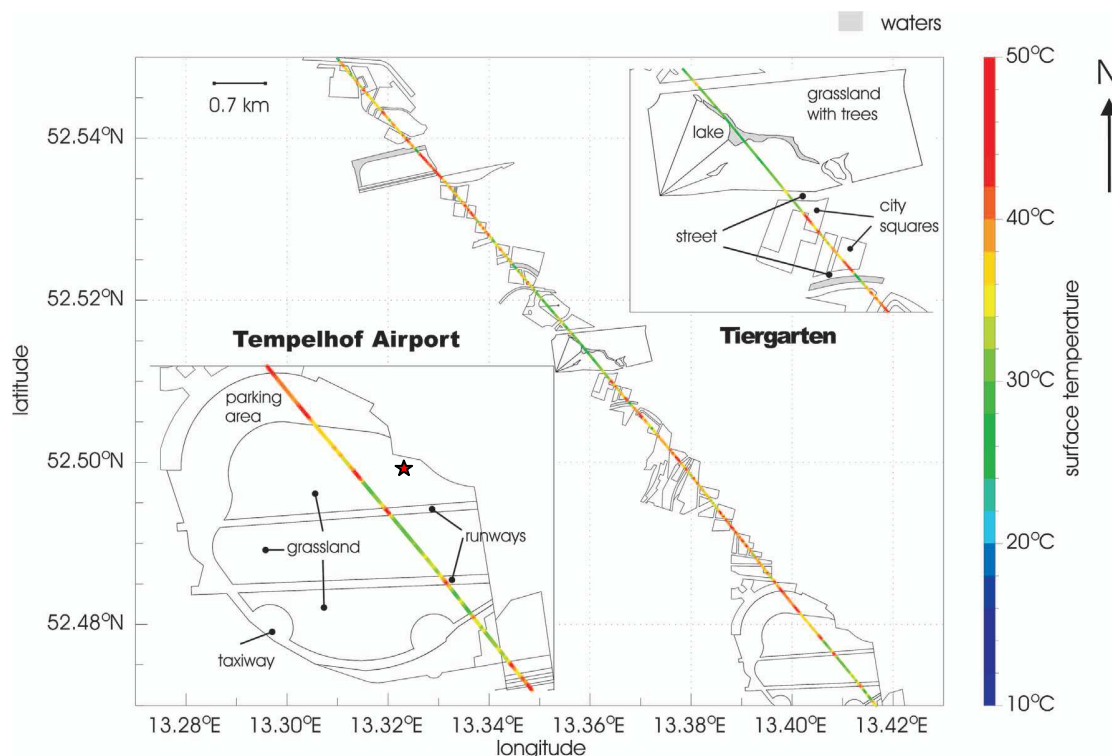
Prvním z nich je poloha měřicí stanice v Berlíně, z které byla data použita. Stanice se nachází na letišti Tempelhof, které sice leží v centru města, ale je to velká travnatá plocha, která je chladnější než okolní zástavba. Kottmeier, Biegert a Corsmeier (2007) provedli studii vlivu Land Use na povrchovou teplotu Berlína. Měření pomocí přeletů letadlem se prováděla 20. července 1998 za jasného tropického dne (maximální teplota 32 °C). Přelet bylo provedeno několik. Největší rozdíly mezi povrchovou teplotou jednotlivých typů zemského povrchu byly zaznamenány při přeletu kolem 15:15 CEST. Obr. 11 ukazuje, že rozdíl v povrchové teplotě mezi zelenými plochami a plochami pokrytými umělým povrchem činil v této odpolední hodině až 20 °C. Meteorologická stanice se nachází na zatravněném území v SV části letiště (hvězdička na Obr. 11). Výše uvedené dokazuje, že stanice Tempelhof není úplně reprezentativní pro studii teploty v centru města. Jiná stanice bohužel však nebyla k dispozici.

Druhým významným faktorem, je značný růst průměrné teploty na stanici v Neuruppinu, který následně snižuje hodnotu intenzity tepelného ostrova. Je to patrně způsobeno tím, že Neuruppin, ač nevelké město (30 000 obyv.), je celkem průmyslové město s dvacetiprocentním podílem ekonomicky aktivních obyvatel pracujících v průmyslu (2 500). Průmyslová odvětví jsou zde velmi pestrá (chemický, automobilový, potravinářský, papírnický) (Ernst BASLER, 2008).

Naproti tomu u Postupimi by k velkému znehodnocování teplotních dat vlivem městského tepelného ostrova docházet nemělo „díky poloze stanice uprostřed lesa“ (Kürbis et al., 2009).

Z výše uvedeného by se mohlo zdát, že výsledky z německých stanic jsou naprosto irelevantní. Přesto existuje literatura, která potvrzuje, že průměrná teplota Berlína roste pomaleji než u srovnatelných aglomerací respektive, že intenzita tepelného ostrova je nižší. Kottmeier, Biegert a Corsmeier (2007) uvádějí, že tvorba tepelného ostrova v Berlíně je méně intenzivní než v jiných podobně velkých městech. Průměrný rozdíl povrchové (!) teploty ulic Berlína a okolí města činí 2–6 °C oproti běžným 10–15 °C v jiných městech. To je způsobeno

„relativně suchými písčitými půdami v okolí města, které jsou teplejší než jiné přírodní povrchy díky nižší evaporaci a nižší tepelné vodivosti“ (Kottmeier, Biegert a Corsmeier, 2007). Kottmeier, Biegert a Corsmeier (2007) odhadli, vzhledem k vlastnostem okolního povrchu, rozdíl mezi městem a okolím na přibližně 1 °C.



**Obr. 11:** Povrchová teplota v Berlíně při přeletu v 15 hodin 20. července 1998, vlevo ve výřezu letiště Tempelhof, červená hvězdička označuje polohu meteostanice (zdroj: Kottmeier, Biegert a Corsmeier, 2007)

Z. W. Kundzewicz et al. (2008) zkoumali oteplování klimatu na německých stanicích metodou porovnávání dvanáctiměsíčních souvislých řad. Porovnávali nejteplejší dvanáctiměsíční období (jakékoliv, nemusí být od ledna do prosince) do roku 2006 a po roce 2006. Na všech německých sledovaných stanicích byla průměrná teplota období po roce 2006 vyšší než před tímto rokem. I tady ovšem vyšel Berlín (Dahlem) jako pomaleji oteplovající se, než Neuruppin a Postupim. Zajímavé je, že před rokem 2006 bylo nejteplejší dvanáctiměsíční období v Berlíně listopad 1778–říjen 1779 s průměrnou teplotou 11,1 °C. Po roce 2006 to bylo období červenec 2006–červen 2007 s teplotou 12,1°C. Rozdíl tedy činí přesně 1 °C. U Postupimi respektive Neuruppinu bylo jako nejteplejší období do roku 2006 zaznamenáno červenec 1999–červen 2000 s teplotou 10,7 (resp. 10,6) °C a po roce 2006 červenec 2006–červen 2007 s 12,1 (resp. 12,0 °C). Rozdíl tedy činí u obou stanic 1,4 °C. Nutno podotknout, že u Neuruppinu a Postupimi nebyla k dispozici tak dlouhá teplotní řada, takže je možné, že i u ostatních stanic by bylo období jako u Berlína teplejší, než zaznamenané rekordy.

Kundzewicz et al. (2008) také uvádí, že „mezi 13 nejteplejšími kalendářními roky v německých záznamech od roku 1850 bylo 12 z těchto let z období 1995–2008. Nejteplejší byl celosvětově rok 1998 a každé z let 2001–2007 se zařadilo mezi druhý až osmý nejteplejší rok v historii měření“.

Další příčinou nízké intenzity tepelného ostrova Berlína může být příznivá daňová politika v Německu pro výstavbu tzv. „zelených střech“. Přibližně 10 procent všech plochých střech v Německu je pokryto zelení. Tyto střechy (Obr. 12) mají na teplotu ve městě velký vliv. Studie na Floridě například prokázala, že průměrná maximální teplota zelených střech je 30 °C oproti 57 °C u normálních světlých střech. Studie z Toronta zase předpokládá, že pokrytí zelení 50 % všech střech by znamenalo snížení teploty v centru města o 0,1 až 0,8 °C. Zavlažováním by bylo možné snížit teplotu až o 2 °C (U.S. Environmental Protection Agency, 2009).

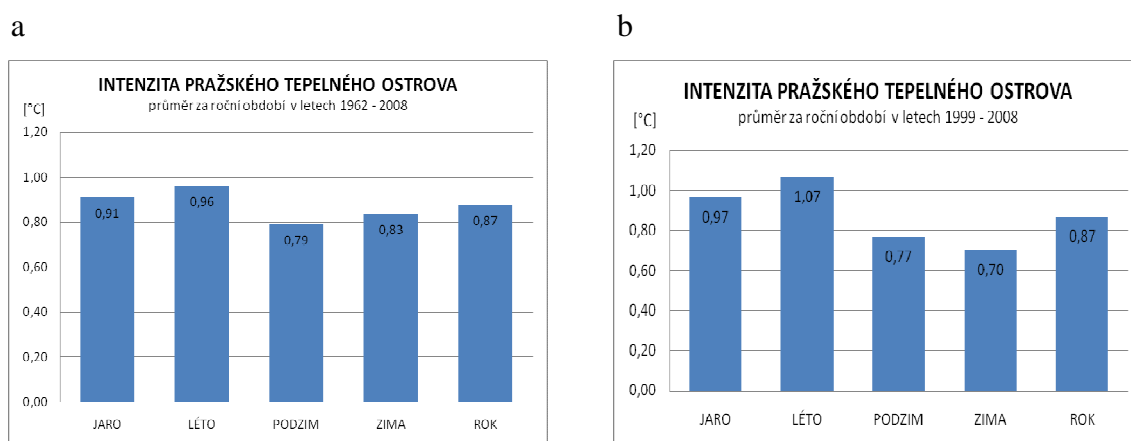


**Obr. 12:** Příklad zelené střechy (U.S. Environmental Protection Agency, 2009)

## 5.2 Praha

Výsledky z Prahy více odpovídají předpokladům. Intenzita městského tepelného ostrova roste. Výskyt tepelného ostrova v Praze podporuje mnoho faktorů od nevyřešené dopravní situace po, pro městský tepelný ostrov příhodnou, polohu centra města v celkem hlubokém říčním údolí Vltavy (a naopak poloha stanice Ruzyně na větrné a otevřené plošině).

Co se týče výsledků, diskutabilní mohou být rozdíly mezi delší řadou z let 1961–2008, kde byla intenzita počítána pouze jako rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní (Graf 7c) a kratší řadou za období 1998–2008, kde byla intenzita počítána jako rozdíl Karlova a průměru stanic Doksany, Ruzyně a Semčice (Grafy 7a,b v kapitole 4.2.1). V prvním případě se jeví jako období s největší intenzitou léto s průměrnou hodnotou 0,96 °C následováno jarem, zimou a posledním podzimem. V druhém případě spadlo léto až za jaro a zimu. Podzim zůstal na posledním místě. Všechna roční období se dostala přes 1 °C a rozdíly mezi nimi nejsou nijak výrazné. Je otázkou, zda došlo za posledních deset let k takovému nárůstu intenzity v zimě a na jaře, nebo zda se jedná pouze o zkreslení díky většímu počtu analyzovaných stanic. Pokud porovnáme teplotní rozdíly pouze mezi Karlovem a Ruzyní za posledních deset let a delší časové období (1962–2008), vyjdou nám podobné hodnoty. Významný je pouze pokles průměrné intenzity v zimě (Graf 14a,b). Průměrná roční odchylka Karlova a Ruzyně zůstává stejná (0,87 °C). V posledním desetiletí ale vzrostl rozdíl mezi stanicemi v létě, naopak poklesla významnost zimy. Výsledky z Grafu 7b jsou tedy jiné hlavně díky více příměstským stanicím, přičemž Semčice už jsou možná příliš vzdálená stanice (cca 60 km).



**Graf 14:** Rozdíl teploty mezi Karlovem a Ruzyní (po přepočtení na stejnou nadmořskou výšku) (a) za roční období v letech 1962–2008 a (b) za roční období v letech 1999–2008 (zdroj: ČHMÚ)

Porovnáme-li naše výsledky s výsledky z jiných zdrojů, souhlasí překvapivě spíše s výsledky intenzity počítané jako rozdíl Karlova a Ruzyně. Beranová a Huth (2003) srovnávali intenzitu městského ostrova v Praze-Klementinu ve vztahu k synoptickým podmínkám. Intenzita byla počítána jako rozdíl minimální denní teploty v Klementinu a průměru tří stanic ve vzdálenosti do 50 km od Prahy – Ondřejov, Hostomice a Doksany. Na rozdíl od naší práce nepřepočítávali Beranová a Huth nadmořské výšky stanic na stejnou výšku z důvodu zkoumání rozdílů při různých cirkulačních typech. Jako roční období

s nejvyšší průměrnou intenzitou se ukázalo léto ( $2,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) před jarem, podzimem a zimou ( $2,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Navíc Beranová a Huth (2003) zjistili, že největší intenzity nabývá městský tepelný ostrov při anticyklonálních situacích. Letní maximum intenzity tepelného ostrova odůvodňují největším ukládáním tepla v městských materiálech a následné uvolňování tepla v nočních hodinách. Ve vztahu k synoptickým situacím dosahuje městský tepelný ostrov největší intenzity při anticyklonálních situacích v létě, kdy je asi o  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  vyšší než při cyklonálních situacích. Nejmenší rozdíl mezi anticyklonální a cyklonální situací je v zimě díky častým inverzím při anticyklonálních situacích. Extrémní intenzita (více než  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se vyskytuje v létě z  $9,7\text{ }\%$  a v zimě v  $7,1\text{ }\%$  případů. Trend růstu intenzity tepelného ostrova vyšel v ročním průměru  $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ let}$ .

Brázdil a Budíková (1999 in Štěpánek, 2005) ve své práci píše, že v letech 1925–1995 bylo oteplení pražského tepelného ostrova největší na jaře a v zimě ( $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ ) a nejmenší v létě. Od šedesátých let se podle autorů objevuje stagnace ve vývoji tepelného ostrova (in Štěpánek, 2005).

Milada Šandová (2007) zkoumala rozložení teplotních anomálií na území ČR. Použila data ze 151 stanic a jejich teplotu přepočítala na hladinu moře. Prokázala, že Praha dosahuje anomálie až  $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (nejvíce v zimě, nejméně na jaře) a ovlivňuje i okolní oblasti zejména směrem na JV (Pražská plošina a Posázaví), které jsou o  $0,2\text{--}0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  teplejší než dlouhodobý průměr ČR. Šandová (2007) poukazuje na to, že „během zimy je městský tepelný ostrov izolovanější než během léta“.

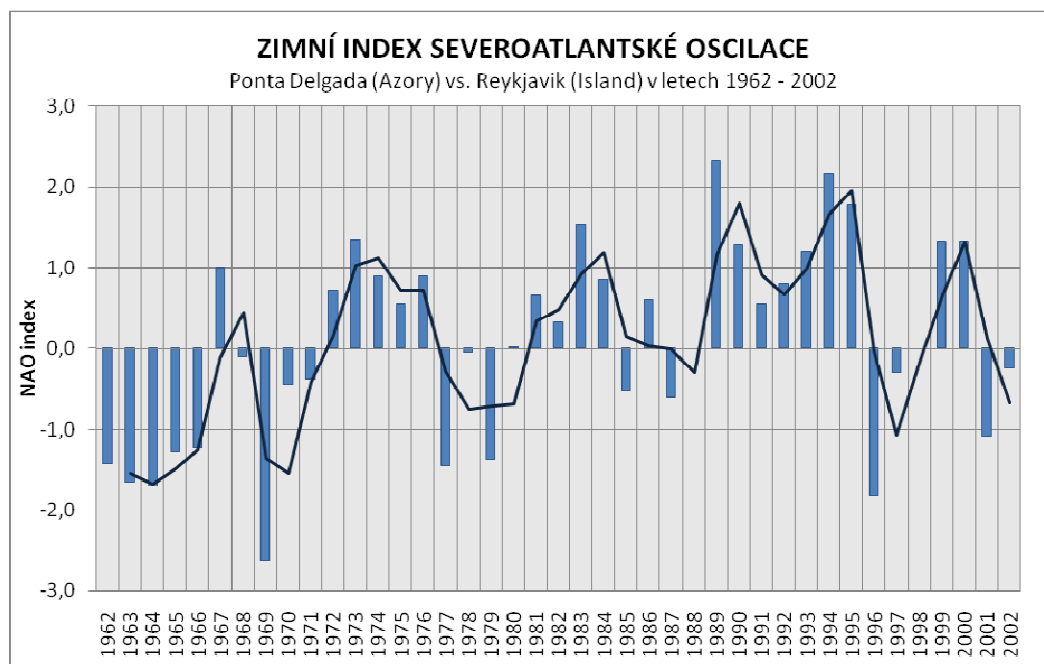
Dagmar Stieblingová (2004) analyzovala ve své diplomové práci teplotní řady z Karlova a Ruzyně z let 1961–2002. Zjistila, že největší vliv tepelného ostrova je v únoru a letních měsících, nejmenší na podzim. Rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní činil  $1,4\text{--}1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Průměrná roční změna teploty dosahuje na Ruzyni  $0,0221\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{rok}$  a na Karlově  $0,0317\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ . Naše výsledky teplotní řady prodloužené o šest let a počítané z měsíčních průměrů udávají čísla  $0,0286\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{rok}$  pro Ruzyni a  $0,0355\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{rok}$  pro Karlov. Jako nejchladnější den vyšel Stieblingové 13. leden a nejteplejší 30. červenec až 1. srpen. To znamená posun vrcholu léta oproti údajům ze starší literatury (Gregor, 1968 in Stieblingová, 2004), která uvádí jako nejteplejší den 15.–31. červenec.

### 5.3 Severoatlantská oscilace

Jedna věc je z výsledků práce naprosto zřejmá. Na všech stanicích ve všech ročních obdobích (nejvíce v zimě) dochází (více či méně) k oteplování. Jako hlavní příčina tohoto jevu, zejména právě v zimě, se jeví vliv **severoatlantské oscilace** (NAO).

Severoatlantská oscilace je klimatický jev, pozorovaný na severu Atlantského oceánu a spojený se změnami tlaku mezi tlakovou níží nad Islandem a tlakovou výší u Azorských ostrovů. Ovlivňuje sílu a směr převažujícího západního proudění nad Atlantikem a s tím spojené projevy počasí nad Evropou, Severní Amerikou, severní Asií a částečně i severní Afrikou. Změny v chodu NAO se pozorují pomocí indexu severoatlantské oscilace (Graf 15), který je definován jako anomální rozdíl mezi polární (Islandskou) tlakovou níží a subtropickou (Azorskou) tlakovou výší (LDEO Columbia, 2009).

NAO má velký vliv na zimní teploty napříč celou severní polokoulí. Povrchové teploty vzduchu a povrchová teplota moře v oblasti severního Atlantiku, Severní Ameriky, Arktidy, Eurasie a Středomoří významně korelují se změnami NAO (Obr. 18). Tabulka 13 ukazuje korelaci zimního indexu NAO s průměrnými zimními teplotami (prosinec–březen) pozorovaných stanic. Korelační koeficienty jsou u všech stanic celkem vysoké, nejvyšší je u Berlína a Neuruppinu (0,70). Podzim koreluje celkem významně hlavně díky zimnímu charakteru měsíce listopadu. U jara a léta je korelace menší.



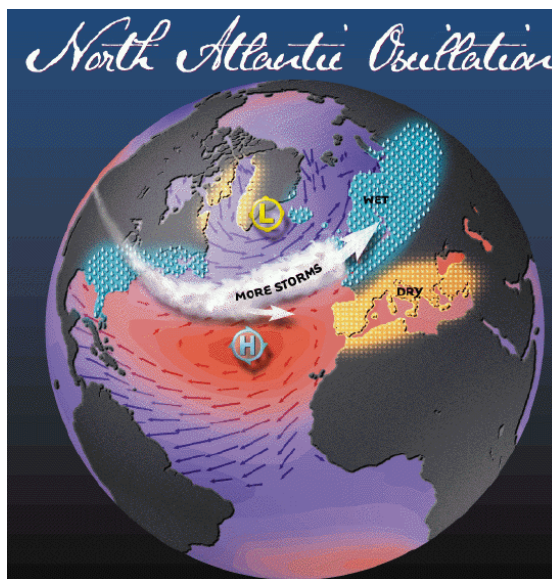
**Graf 15:** Zimní index NAO 1962–2002, rozdíl tlaků při hladině moře – Ponta Delgada (Azory) a Reykjavik (Island) (zdroj: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>)



**Tab. 13:** Korelace průměrných teplot pro roční období (1962–2002) s indexem NAO (zdroj: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>)

období	Berlín	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
zima (XII–III)	0.70	0.69	0.70	0.68	0.66
jaro	0.27	0.27	0.25	0.29	0.28
léto	0.04	0.04	0.11	0.19	0.18
podzim	0.50	0.49	0.50	0.48	0.48
říjen–březen	0.59	0.59	0.60	0.59	0.55
duben–září	0.14	0.10	0.14	0.13	0.16

Změny v povrchové teplotě (a související změny chodu srážek a bouří) mohou mít významný dopad na celou škálu lidských činností, jakož i na mořské a suchozemské ekosystémy. Když je NAO index kladný, posílené západní proudění napříč celým severním Atlantikem během zimy přináší relativně teplý a vlhký mořský vzduch nad většinu Evropy a následně i do Asie, zatímco silnější severní proudění přes Grónsko



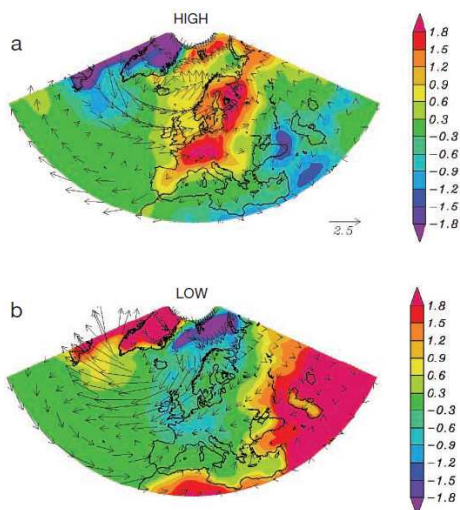
a severovýchodní Kanadu se studeným vzduchem způsobuje pokles povrchové i mořské

**Obr. 13:** Situace při kladném indexu NAO (zdroj: LDEO Columbia, 2009)

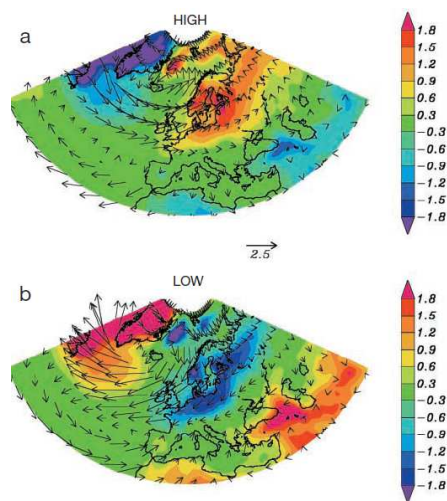
teploty v severozápadním Atlantiku (Obr. 13). Zaznamenány jsou také změny teplot nad severní Afrikou a Středním východem (ochlazení) a v Severní Americe (oteplení) související se silnější cirkulací vzduchu v oblasti Azorské tlakové výše. NAO ovlivňuje variabilitu zimních teplot zhruba na 1/3 plochy severní polokoule (Hurrell, 2000).

Tato teplotní anomálie má vliv i na většinu střední Evropy (a dokonce i na Pyrenejský poloostrov, severní Itálii a Balkán). Projevuje se především u maximálních denních teplot, ale už ne tolik u nočních minimálních teplot (Obr. 14 a 15). Při pozitivním NAO indexu dochází ve střední Evropě a na Pyrenejském poloostrově v zimních měsících k anomální anticyklonální cirkulaci a s tím souvisejícímu poklesu oblačnosti (Obr. 16). To má za následek větší příjem slunečního záření a zároveň větší vyzařování tepla v noci, což vysvětluje rozdíly mezi maximální a minimální teplotou (Trigo, Osborn a Corte-Real, 2002).

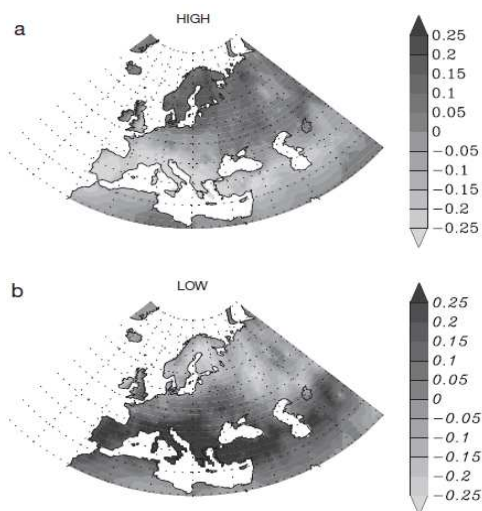




**Obr. 14:** Odchylka  $T_{max}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) pro zimní měsíce (a) NAO index  $> 1,0$  a (b) NAO index  $< -1,0$  (zdroj: Trigo, Osborn a Corte-Real, 2002)



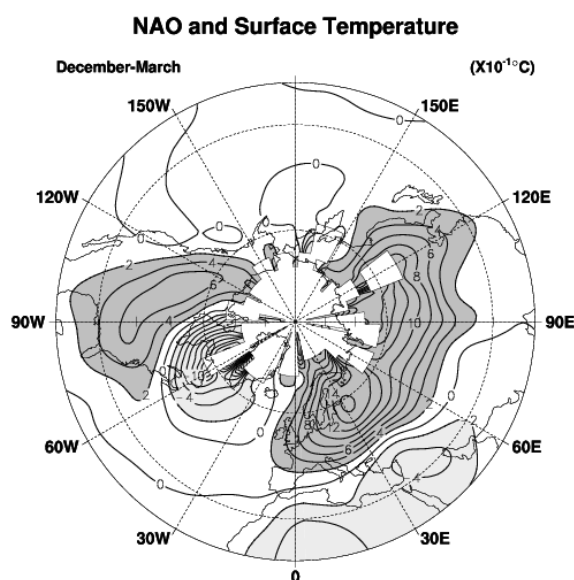
**Obr. 15:** Odchylka  $T_{min}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) pro zimní měsíce (a) NAO index  $> 1,0$  a (b) NAO index  $< -1,0$  (zdroj: Trigo, Osborn a Corte-Real, 2002)



**Obr. 16:** Odchylka v oblačnosti v zimních měsících. (a) NAO index  $> 1,0$ , (b) NAO index  $< -1,0$  (zdroj: Trigo, Osborn a Corte-Real, 2002)

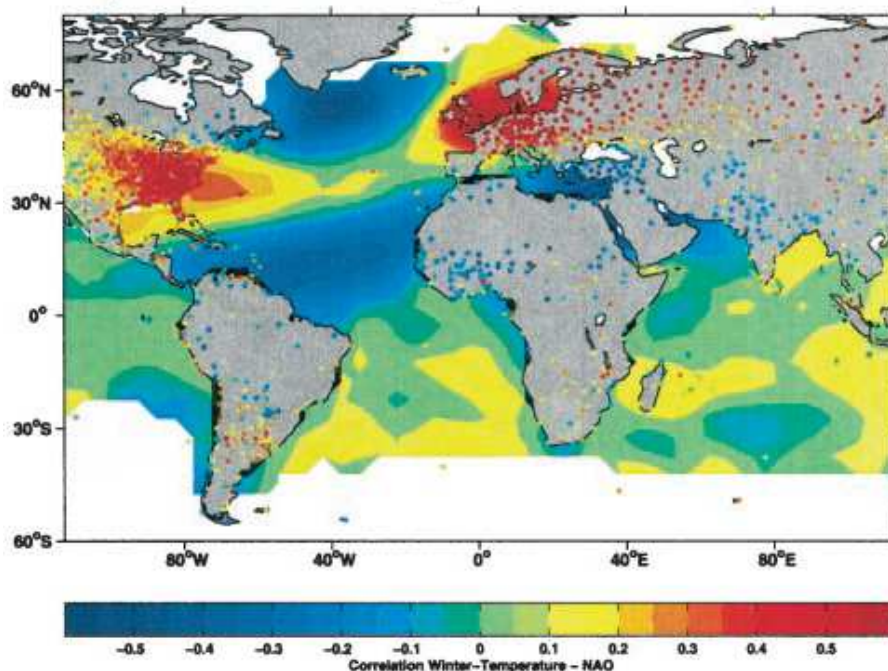
Síla vazby mezi NAO a teplotami na severní polokouli je podle Jamese Hurrela (2000) velkým argumentem pro diskuzi o schopnostech vědců rozpoznat a rozlišit přírodní a antropogenní vlivy na změny klimatu. Od počátku 80. let jsou zimní teploty nad většinou Severní Ameriky a Eurasie výrazně vyšší oproti dlouhodobému průměru, zatímco teploty nad severními oceány jsou mírně chladnější (Obr. 17). To odpovídá Grafu 15, kde můžeme vidět, že kladný index NAO se začíná výrazněji prosazovat od poloviny 70. let. Z Obr. 17 vyplývá, že v oblasti stanic pozorovaných v této práci došlo za období 1935–1999 k vzestupu povrchové teploty vlivem NAO o 0,8 až 1,0  $^{\circ}\text{C}$ . Je zřejmé, že NAO významnou měrou

přispívá k prokázání trendu oteplování na severní polokouli a růstu globálních teplot v posledních desetiletích. Vývoj NAO podle Hurrela (2000) přibližně odpovídá počítačovým modelům, které sledují změny zimních teplot způsobené rostoucí koncentrací skleníkových plynů a aerosolů. Je zřejmé, že významná část těchto teplotních změn je způsobena vzestupným vlivem NAO. Do jaké míry jsou přírodní procesy, jako severoatlantská oscilace, způsobující variabilitu klimatu ovlivněny antropogenními procesy, zůstává nadále ústřední otázkou výzkumů (Hurrel 2000). Například Bucha a Bucha (1996 in Cahynová, 2004) odůvodňují změny indexu NAO změnami geomagnetické a sluneční aktivity.



**Obr. 17:** Změny v povrchových teplotách pevniny a mořské hladiny ( $\times 10^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) související s odchylkami indexu NAO za zimní měsíce (prosinec–březen) v letech 1935–1999. Rozestupy mezi izoliniemi  $0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Změny teploty  $> 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  jsou vyznačeny tmavošedou, změny teploty  $< -0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  jsou vyznačeny světlešedou. Oblasti s nedostatkem dat nejsou zakresleny (zdroj: Hurrel 2000)

Winter (DJFM) SST and Land Temperature correlated with NAO index



**Obr. 18:** Korelace průměrné zimní teploty (prosinec–březen) a indexu NAO (zdroj: Visbeck, 2001)

Cahynová (2004) se ve své diplomové práci zabývá vlivem NAO respektive indexu ZIEU – rozdíl tlaků 35. a 65. rovnoběžky severní šířky – na teploty ve střední Evropě. Podle Cahynové znamená zvýšení zimního průměru indexu ZIEU o 1 směrodatnou odchylku (6,8 hPa pro 1962–1998) zvýšení teploty od 0,75 °C v Klagenfurthu po 2 °C ve Varšavě. Pro Prahu to podle Cahynové interpolace znamená oteplení o 1,5 °C, pro Postupim 1,8 °C–1,9 °C a pro Neuruppin 1,9 °C–2,0 °C. Je tak zřejmé, že rychlé oteplování Neuruppinu může být způsobeno i severnější polohou oproti Berlínu a Postupimi a tedy větším vlivem NAO. Cahynová píše, že pro NAO neplatí žádná časová persistence nebo autokorelace, tudíž má velké meziroční kolísání.

## 5.4 Vliv měst na globální klima

Literatura se také zabývá vlivem urbanizovaných oblastí na globální klima. Je stále předmětem výzkumů, do jaké míry mají městské tepelné ostrovy vliv na trendy teplot ve větším než lokálním měřítku. Peterson a Owen (2005) poukázali na malé odlišnosti mezi teplotními trendy z celkové klimatologické sítě Spojených států (US Historical Climatology Network) a teplotními trendy bez 16 % řad ze stanic nacházejících se v obci s více než 30 000 obyvateli. Trendy pouze z příměstských stanic byly téměř totožné s trendy obsahujícími data z městských stanic. Peterson (2003) se domnívá, že město s populací menší

než 10 000 obyvatel je venkovské a jeho teplotní data nejsou nijak ovlivněna urbanizací. Oke (1973) ale tvrdí, že teplota městského tepelného ostrova roste podle vzorce:  $UHI = 0,73 \log_{10}(pop)$ , kde *pop* je počet obyvatel. To by znamenalo, že obec o 10 obyvatelích má výhřevnost 0,73 °C, 100 obyvatel produkuje 1,46 °C a město o jednom tisíci obyvatel má tepelný výdej 2,2 °C. Milionové město potom vychází na 4,4 °C.

Hughes tvrdí, že při vzrůstu počtu obyvatel od roku 1900 na 6 miliard by Okeovu vzorci odpovídal tvar  $2,2 \log(6)$ , tedy vzrůst teploty asi o 1,7 °C, což je číslo větší než pozorované oteplování 0,6 °C. Pokud však bereme na vědomí, že se městské tepelné ostrovy vyskytují jen na pevnině (29 % zemského povrchu), provedeme výpočet  $0,29 \cdot 1,7 = 0,49$  °C, což už více odpovídá pozorovanému oteplení. Podle Hughese proto není zcela vyloučeno, že většinu pozorovaného oteplení ve 20. století tvoří městské tepelné ostrovy (Hughes, 2008).

Městský povrch významně přispívá k změnám chodů teplot a srážek na místním a regionálním měřítku. Trusilova a kol (2008) uvádí, že městský povrch lokálně vede ke snížení denního teplotního rozpětí o více než 1,2 °C v létě a 0,7 °C v zimě. Změny v cirkulaci atmosféry, způsobené městským povrchem, způsobují podle autorů v evropských městech růst zimních srážek o přibližně 8 % a pokles letních srážek o cca 19 %. Bylo dokázáno, že městský povrch silně ovlivňuje nejen lokální klima měst, ale stejně tak klima okolí města. Tento výsledek je důležitý zejména pro předpověď dopadů růstu měst na lokální a regionální klima.

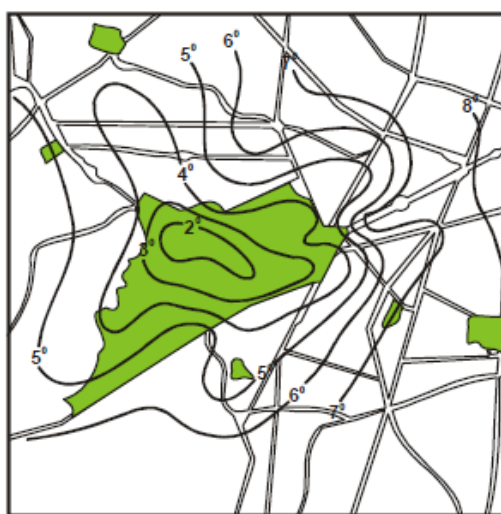
Pochopení fyzikálních mechanismů vytvářejících tepelný ostrov je základ pro rozvoj opatření, která mohou regulovat tepelný ostrov, ale v některých případech je použití těchto opatření obtížné. Například rozsáhlé změny urbanizovaných ploch změnou prostorového řešení budov je v podstatě nemožné. Ale jsou tu další možnosti, například používání světlých materiálů, nebo ochlazování vzduchu pomocí vysazování zeleně, která zaprvé zabraňuje zahřívání povrchů svým stínem a zadruhé osvěžuje vzduch díky transpiraci (Voogt, 2004).

Vysazování více zeleně ve městech je asi nejjednodušší, ale zároveň velmi účinný způsob, jak regulovat intenzitu městského tepelného ostrova a zpříjemnit tak život obyvatelům města. Navíc výsadba zeleně má nejen ekologický, ale také estetický a sociologický účinek (viz např. kniha V. Cílka – Krajina vnější i vnitřní).

Zeleň má ve městě podle Voogta (2004) mnoho způsobů efektivního využití. Například výsadba stromů kolem jednotlivých budov pro zastínění městských ploch a stěn budov orientovaných ke slunci a snížení jejich teploty. To vede k podstatnému snížení spotřeby energie pro klimatizaci. Stromy lze také použít k zastínění silnic a parkovišť, které se jinak během dne velice zahřívají a následně v noci vyzařují velké množství tepla. Zastínění

vozidel na parkovištích může vést ke snížení emisí z benzínu, které přispívají ke zvýšení hladiny přízemního ozonu. Již zmiňované "zelené střechy" snižují tepelnou akumulaci budov a významnou část celkové absorbované energie využívají k odpařování vody ze zeleně na střeše a ne k ohřívání střech a vzduchu nad nimi.

Vytváření zelených ploch, jako jsou parky, může napomáhat ochlazování čtvrtí (viz Obr. 19) a celkové zvýšení množství zeleně ve městě vede k ochlazování městské atmosféry. Zeleň ve městě napomáhá zachytávání škodlivin na městské zeleni (a jejich neodnášení za město), snižování emisí skleníkových plynů z klimatizací, snižování množství těkavých plynů v městské atmosféře a snižování množství přízemního ozonu (Voogt, 2004).



**Obr. 19:** *Isotermie v Chapultepec Park v Mexiko City 3. prosince 1970 (5:28–6:28) za jasného, bezvětřného počasí (zdroj: Mills, 2004)*

Městské tepelné ostrovy samy nejsou odpovědné za globální oteplování, protože jsou malého měřítka a pokrývají malou část zemského povrchu. Podle Voogta (2004) však existují některé spojitosti mezi klimatem globálního a městského měřítka:

1. Přibližně polovina světové populace žije ve městech, a tato hodnota se podle očekávání zvýší na 61% do roku 2030. Vysoká míra urbanizace, především v tropech, znamená, že stále více lidí bude vystaveno dopadům tepelných ostrovů.
2. První měření klimatu v historii probíhala v městských oblastech, a tato data jsou často používána pro určování globálního klimatu a z těchto dat se vědci snaží dokázat existenci globálních změn klimatu. Vlivy urbanizace, a tudíž i městského tepelného ostrova, mohou však tato historická data znehodnocovat a musí se z nich tyto vlivy odstranit. Současné

metody odstraňování těchto vlivů však nemusí být plně směrodatné a spolehlivé.

3. Většina skleníkových plynů, které přispívají ke globální změně klimatu, pochází z městských aglomerací. Další urbanizace zvýší podíl emisí těchto plynů z městských aglomerací. Zkoumání rozsáhlejších dopadů městských emisí na světové klima je důležitou oblastí pro další výzkum.

4. Změny klimatu ve velkých městech v průběhu minulého století nám ukazují, jak se bude vyvíjet celosvětové klima. Proto města mohou sloužit jako model pro řešení globálních změn klimatu.

## 6 ZÁVĚR

V této práci byly analyzovány teplotní řady ze tří stanic v Německu a dvou stanic v Česku. Cílem práce bylo analyzovat vývoj intenzity městských tepelných ostrovů v Praze (stanice Karlov) a Berlíně (stanice Tempelhof) za období 1961–2008. Pro analyzování intenzity byla použita data z příměstských stanic Ruzyně (u Prahy) a stanice Postupim a Neuruppin (u Berlína).

U Prahy byl prokázán posilující vliv městského tepelného ostrova, a to v průměru o  $0,0066\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$  během sledovaného období. Největší růst intenzity byl v Praze prokázán v létě ( $0,0135\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ ), mírný pokles vyšel v zimě ( $-0,0013\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ ). Průměrná hodnota intenzity městského tepelného ostrova činila za sledované období  $0,87\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Největší intenzity dosahuje Karlov v létě ( $0,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), nejmenší na podzim ( $0,79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Průměrná teplota stanice Karlov vzrostla za sledované období o  $0,0355\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$  a u stanice Ruzyně o  $0,0286\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ .

U Berlína posilující vliv městského tepelného ostrova prokázán nebyl. Naopak ve všech měsících došlo k poklesu intenzity vzhledem k průměru stanice Postupim a Neuruppin. Roční intenzita tepelného ostrova činí v průměru  $0,66\text{ }^{\circ}\text{C}$  s poklesem za sledované období o  $0,0071\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ . Největší intenzity dosahuje tepelný ostrov Berlína v létě ( $0,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), nejmenší v zimě ( $0,47\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). To je dáno především značným nárůstem průměrné teploty v Neuruppinu, způsobeným pravděpodobně poměrně silným zastoupením průmyslu ve městě a také nejsilnějším vlivem severoatlantské oscilace na tuto stanici. Průměrná teplota v Neuruppinu vzrostla o  $0,0378\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ , oproti tomu v Berlíně pouze o  $0,0287\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$  a v Postupimi o  $0,0325\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ .

Na všech stanicích byl zjištěn největší nárůst průměrné teploty v zimě. Korelací byla prokázána relativně velká závislost ( $0,66\text{--}0,70$ ) vývoje zimních teplot na severoatlantské oscilaci.

## 7 ZDROJE

### 7.1 Použitá literatura

- BERANOVÁ R., HUTH, R. (2003): Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. *Meteorologické zprávy*, 56, 137–142.
- CAHYNOVÁ, M. (2004): *Severoatlantská oscilace a její vliv na teplotní a srážkové poměry střední Evropy*. Diplomová práce. Přf UK. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha. 66 s.
- ČERVENÝ, J. et al. (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR, Praha: SZN, 1984, 414 s.
- DWD (2008): *Klimawandel im Detail – Zahlen und Fakten zum Klima in Deutschland zum Jahr 2007*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.dwd.de>>.
- FRICH, P. et al. (2002): Observed coherent changes in climatic extremes. *Climate research*, Vol. 19, str. 193–212.
- HONSOVÁ, D. (2006): Teplotní inverze – počasí naopak. *Příroda.cz*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=567>>.
- HURRELL, J. W. (2003): Climate Variability: North Atlantic and Arctic Oscillation. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*: s. 439–445.
- KOTTEK, M. et al. (2006): World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, Vol. 15, str. 259–263.
- KOTTMEIER, C., BIEGERT, C., CORSMEIER, U. (2007): Effects of Urban Land Use on Surface Temperature in Berlin: Case Study, *Journal of urban planing and development*, červen 2007, s. 128–137



- KUNDZEWICZ, Z. W. et al. (2008): Recent anomalies of mean temperature of 12 consecutive months – Germany, Europe, Northern Hemisphere, *Theoretical and Applied Climatology*. Berlin: Springer-Verlag 2008.
- KÜRBIS, K. (2009): Trends in extremes of temperature, dew point, and precipitation from long instrumental series from central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*. Berlin: Springer-Verlag 2009.
- MILLS, G. (2007): Cities as agents of global change. *International Journal of Climatology*, Vol. 27, str. 1849–1857
- MILLS, G. (2004): The Urban Canopy Layer Heat Island. *IAUC Teaching Resources*. [online]. Aktualizace 2004. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.urban-climate.org>>.
- NOSEK, M (1972): *Metody v klimatologii*, Praha: Academia, 1972, 434 s.
- OKE, T. R. (1973): City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* **7**: 769–779.
- PETERSON, T. C. (2003). Assessment of Urban Versus Rural *in situ* Surface Temperatures in the Contiguous United States: No Difference Found. *Journal of Climate*, Vol. 16(18), s. 2941–2959.
- PETERSON, T. C. (2006) Examination of potential biases in air temperature caused by poor station locations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 87, s. 1073–1089
- STRUMPF, T., BUCHHORN, R. (2006): Versuchswesen der BBA Berlin Dahlem, Kurzbericht 2006. Berlin: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft.
- ŠANDOVÁ, M. (2007): Anomálie teploty vzduchu na území ČR v období 1961–1990. Bakalářská práce. Přf UK. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha. 60 s.
- STIEBLINGOVÁ, D. (2004): *Teplotní poměry v Praze v období 1961–2006*. Magisterská práce. Přf UK. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha. 76 s.

ŠTĚPÁNEK, P. (2005): *Variabilita teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových měření*. Disertační práce. PřF MU, Brno. 137 s.

TRIGO, R. M., OSBORN, T. J., CORTE-REAL, J. M. (2002): The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate research*, Vol. 20.

TRUSILOVA, K. et al. (2008): Urbanization Impacts on the Climate in Europe: Numerical Experiments by the PSU-NCAR Mesoscale Model (MM5). *Journal of applied meteorology and klimatology*, Vol. 47. s. 1442–1455

VISBECK, M. H. (2001): The North Atlantic Oscillation: Past, present, and future, *PNAS*, Vol. 98, s. 12876–12877

## 7.2 Internetové a další zdroje

### 7.2.1 Internetové zdroje

*Encyklopedia Britannica*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.britannica.com/>>.

*Ernst BASLER + PARTNER* (2008): NEURUPPINSTRATEGIE 2020 – Gesamtkonzept [Integriertes Stadtentwicklungskonzept und Standortentwicklungskonzept]. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <[http://www.neuruppin.de/neuruppin.de/data/media/\\_stories/2436/2008\\_04\\_30\\_npstrategie\\_beschluss.pdf](http://www.neuruppin.de/neuruppin.de/data/media/_stories/2436/2008_04_30_npstrategie_beschluss.pdf)>.

HUGHES, W. (2008): Some thoughts on UHI's and rural stations (adapted from an essay by P. M. Pollock). [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.warwickhughes.com/hoyt/uhi.htm>>.

Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin (2000–2007): *Rekordtafeln der täglichen Extremtemperaturen von Berlin-Dahlem*. [online]. Aktualizace 2008. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.met.fu-berlin.de/~stefan/extrem1.htm>>.

LDEO Columbia (2009): *North Atlantic Oscillation*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>>.

POPELKA, J. (2008): *Informace pro studenty kurzů Statistika, Výpočetní technika a Základy výpočetní techniky – powerpointové presentace Statistika2008\_6.ppt a Statistika2008\_7.ppt* [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://most.ujep.cz/~popelka/dokumenty.htm>>

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2009): *Geoinformation*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/>>.

U.S. Environmental Protection Agency (2009): *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>>.

VOOGT, J. A., (2004): Urban Heat Islands: Hotter Cities, *Action Bioscience*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>>.

*Wikipedia, die freie Enzyklopädie*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://de.wikipedia.org/>>.

### 7.2.2 Zdroje dat

**NAO index data:** Climate Analysis Section, NCAR, Boulder, USA, HURRELL, J. (1995). [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-3-25]. Dostupné z: <<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>>.

**teplotní data z německých stanic:** Deutscher Wetterdienst. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2008-11-3]. Dostupné z: <<http://www.dwd.de>>.

**teplotní data z českých stanic:** z let 1961–1998 na požádání poskytl Český hydrometeorologický ústav, měsíční hodnoty z let 1998–2008 volně dostupné na: Český hydrometeorologický ústav. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2008-11-3]. Dostupné z: <<http://www.chmi.cz>>.

# SEZNAM GRAFŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

<b>Obr. 1:</b> Větrné podmínky v Berlíně.....	8
<b>Obr. 2:</b> Klimadiagram – Berlín-Tempelhof, 1961–1990.....	8
<b>Obr. 3:</b> Klimadiagram – Postupim, 1961–1990.....	9
<b>Obr. 4:</b> Klimadiagram – Neuruppin, 1961–1990.....	9
<b>Obr. 5:</b> Klimadiagram – Praha, Karlov, 1961–1990.....	11
<b>Obr. 6:</b> Klimadiagram – Praha, Ruzyně, 1961–1990 .....	11
<b>Obr. 7:</b> Průměrná min. teplota v listopadu 1981 v Mexico City.....	13
<b>Obr. 8:</b> Schematický náčrt stavby městské atmosféry.....	13
<b>Obr. 9:</b> Vývoj intenzity městského tepelného ostrova během dne .....	14
<b>Obr. 10:</b> Horká vlna v Evropě v roce 2003.....	15
<b>Tab. 1:</b> Poloha všech použitých stanic.....	18
<b>Tab. 2:</b> Poloha měřicích stanic, dlouhodobé teplotní průměry 1961–1990 a průměrná rychlost větru.....	19
<b>Graf 1:</b> Lineární trendy zimních teplot 1962–2008.....	19
<b>Tab. 3:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 1.....	20
<b>Graf 2:</b> Lineární trendy jarních teplot 1961–2008.....	20
<b>Tab. 4:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 2.....	21
<b>Graf 3:</b> Lineární trendy letních teplot 1961–2008.....	21
<b>Tab. 5:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 3.....	22
<b>Graf 4:</b> Lineární trendy podzimních teplot 1961–2008 .....	22
<b>Tab. 6:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 4.....	23
<b>Graf 5:</b> Lineární trendy teplot „chladného půlroku“ 1962–2008.....	23
<b>Tab. 7:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 5.....	24
<b>Graf 6:</b> Lineární trendy teplot „teplého půlroku“ 1962–2008 .....	24
<b>Tab. 8:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 6.....	25
<b>Graf 7:</b> Intenzita pražského tepelného ostrova .....	26
<b>Graf 8:</b> Intenzita berlínského tepelného ostrova .....	27
<b>Graf 9:</b> Lineární trendy intenzity pražského tep. ostrova za roční období 1962–2008.....	28
<b>Tab. 9:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 9.....	28
<b>Graf 10:</b> Lineární trendy intenzity berlínského tep. ostrova za roční období 1962–2008 .....	29
<b>Tab. 10:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 10.....	29

<b>Graf 11:</b> Vývoj intenzity městského tepelného ostrova v Praze a Berlíně v chladném období (říjen–březen) 1962–2008 .....	30
<b>Tab. 11:</b> Vlastnosti regresních přímk z Grafu 11 .....	30
<b>Graf 12:</b> Vývoj intenzity městského tepelného ostrova v Praze a Berlíně v teplém období (duben–září) 1962–2008 .....	31
<b>Tab. 12:</b> Vlastnosti regresních přímk z Grafu 12 .....	31
<b>Graf 13:</b> Vývoj intenzity Berlína vůči Postupimi a Neuruppinu .....	32
<b>Obr. 11:</b> Povrchová teplota v Berlíně při přeletu v 15 hodin 20. července 1998, vlevo ve výřezu letiště Tempelhof, červená hvězdička označuje polohu meteostanice .....	35
<b>Obr. 12:</b> Příklad zelené střechy .....	36
<b>Graf 14:</b> Rozdíl teploty mezi Karlovem a Ruzyní (po přepočtení na stejnou nadmořskou výšku) v letech 1962–2008 a v letech 1999–2008 .....	37
<b>Graf 15:</b> Zimní index NAO 1962–2002, rozdíl tlaků při hladině moře – Ponta Delgada (Azory) a Reykjavik (Island) .....	39
<b>Tab. 13:</b> Korelace průměrných teplot pro roční období (1962–2002) s indexem NAO .....	40
<b>Obr. 13:</b> Situace při kladném indexu NAO .....	40
<b>Obr. 14:</b> Odchylka Tmax (°C) pro zimní měsíce v závislosti na indexu NAO .....	41
<b>Obr. 15:</b> Odchylka Tmin (°C) pro zimní měsíce v závislosti na indexu NAO .....	41
<b>Obr. 16:</b> Odchylka v oblačnosti v zimních měsících. v závislosti na indexu NAO .....	41
<b>Obr.17:</b> Změny v povrchových teplotách pevniny a mořské hladiny v zimních měsících v závislosti na indexu NAO v letech 1935–1999 .....	42
<b>Obr. 18:</b> Korelace průměrné zimní teploty (prosinec–březen) a indexu NAO .....	43
<b>Obr. 19:</b> Isotermy v Chapultepec Park v Mexiko City 3. prosince 1970 .....	45

# PŘÍLOHY

## Seznam příloh

**Příloha 1:** Poloha použitých měřicích stanic

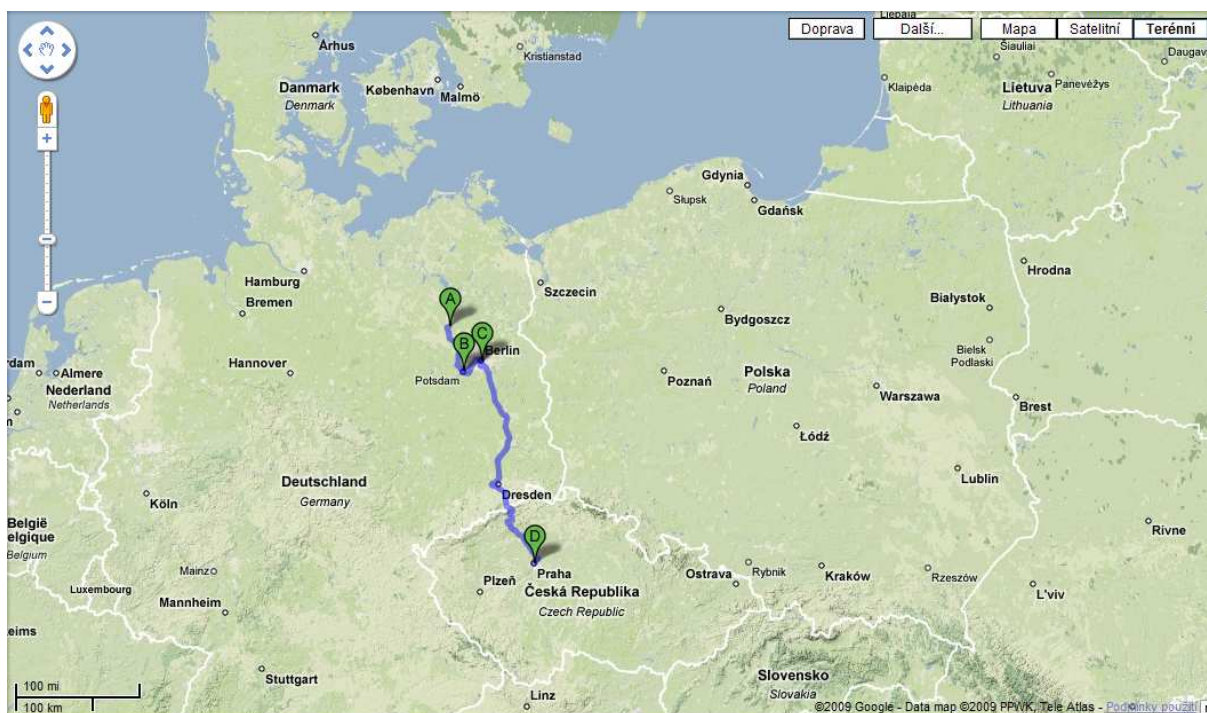
**Příloha 2:** Měsíční průměrné teploty na sledovaných stanicích za období 1961–2008

**Příloha 3:** Vývoj intenzity městských tepelných ostrovů (ve °C) podle jednotlivých ročních období v jednotlivých letech (1961–2008)

**Příloha 4:** Výsledky testování homogenity dat pomocí metody podvojně součtové čáry

**Příloha 5:** CD s elektronickou verzí práce

*Příloha 1: Poloha použitých měřicích stanic (A – Neuruppin, B – Postupim, C – Berlín, D – Praha) (zdroj: <http://www.google.cz/maps>)*



**Příloha 2: Měsíční průměrné teploty na sledovaných stanicích za období 1961–2008 (zdroj DWD a ČHMÚ)**

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1961	I	−1,0	−1,5	−1,1	−1,4	−2,9
1961	II	4,9	4,6	4,0	4,0	2,6
1961	III	7,0	6,6	6,1	7,5	6,1
1961	IV	11,6	11,1	10,5	12,9	11,5
1961	V	11,5	11,0	10,9	11,8	10,7
1961	VI	18,5	17,7	17,5	18,1	16,8
1961	VII	16,7	16,1	15,7	17,4	16,2
1961	VIII	16,9	16,2	15,8	17,5	16,4
1961	IX	17,0	16,4	16,1	17,0	16,0
1961	X	12,0	11,2	11,3	11,0	9,9
1961	XI	4,6	4,0	4,3	3,9	2,5
1961	XII	−1,3	−1,9	−1,5	−1,1	−2,6
1962	I	2,4	2,0	2,1	1,3	−0,2
1962	II	1,0	0,6	0,8	0,1	−1,2
1962	III	1,1	0,6	0,3	1,0	−0,5
1962	IV	10,1	9,5	8,8	10,7	9,5
1962	V	11,3	10,6	10,2	11,7	10,5
1962	VI	15,6	15,1	14,6	16,3	14,9
1962	VII	16,2	15,4	15,1	17,0	15,9
1962	VIII	16,6	15,9	15,5	18,7	17,6
1962	IX	12,9	12,3	12,2	14,1	13,0
1962	X	10,0	9,5	9,5	9,0	8,0
1962	XI	4,1	3,3	3,7	3,8	2,6
1962	XII	−2,8	−3,4	−3,0	−3,9	−5,1
1963	I	−7,3	−8,3	−8,0	−6,9	−8,5
1963	II	−4,5	−5,4	−6,5	−5,1	−6,7
1963	III	3,1	2,7	1,3	3,1	1,6
1963	IV	9,3	8,7	7,8	10,0	8,9
1963	V	14,4	13,6	13,4	13,9	12,9
1963	VI	18,5	17,6	17,2	17,9	16,7
1963	VII	20,5	19,4	18,7	20,4	19,1
1963	VIII	18,4	17,4	17,2	18,5	17,4
1963	IX	15,6	14,7	14,2	15,6	14,5
1963	X	9,5	8,9	8,8	9,4	8,2
1963	XI	8,1	7,7	7,5	8,1	6,7
1963	XII	−2,6	−3,3	−2,7	−3,8	−5,4
1964	I	−1,8	−2,7	−2,7	−4,2	−5,6
1964	II	0,2	−0,6	−0,2	−0,4	−1,9
1964	III	0,4	−0,1	−0,5	0,6	−0,7
1964	IV	9,8	9,2	8,7	10,3	9,0
1964	V	14,9	14,3	13,6	15,4	14,3
1964	VI	19,5	18,7	18,1	19,9	18,7
1964	VII	19,7	19,1	18,5	20,5	19,3
1964	VIII	17,0	16,4	16,2	17,2	16,2
1964	IX	14,8	14,2	13,7	14,8	13,6
1964	X	8,2	7,4	7,7	8,3	7,2
1964	XI	5,5	4,9	5,2	5,3	3,9
1964	XII	1,5	0,8	1,2	0,5	−1,0
1965	I	1,8	1,3	1,3	1,7	0,3

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1965	II	−0,9	−1,3	−1,5	−2,0	−3,5
1965	III	2,6	2,0	1,2	2,4	0,8
1965	IV	8,2	7,3	6,9	8,2	6,9
1965	V	12,4	11,9	11,6	12,1	10,9
1965	VI	17,5	17,0	16,5	17,3	16,0
1965	VII	16,4	15,7	15,3	17,6	16,1
1965	VIII	16,9	16,1	15,5	17,2	15,9
1965	IX	14,9	14,2	14,2	14,1	12,9
1965	X	9,3	8,6	8,5	8,0	7,0
1965	XI	0,9	0,4	0,4	1,4	0,0
1965	XII	2,8	2,3	2,1	3,3	1,8
1966	I	−2,7	−3,4	−2,9	−3,4	−4,7
1966	II	1,5	1,1	0,1	5,0	3,4
1966	III	4,2	3,7	3,5	4,3	3,0
1966	IV	9,6	9,1	7,9	11,1	9,9
1966	V	14,9	14,3	13,7	14,6	13,6
1966	VI	19,1	18,7	18,4	18,5	17,5
1966	VII	17,9	17,2	17,1	17,8	16,7
1966	VIII	17,6	16,7	16,7	17,2	16,1
1966	IX	13,9	13,2	12,8	14,3	13,1
1966	X	12,0	11,5	11,2	12,7	11,5
1966	XI	3,2	2,5	2,8	3,3	1,8
1966	XII	2,5	2,0	2,1	2,1	0,7
1967	I	0,7	0,3	0,3	−0,4	−1,8
1967	II	3,4	2,8	2,8	3,0	1,6
1967	III	6,6	6,1	5,8	6,2	4,7
1967	IV	7,7	7,0	6,7	8,4	7,0
1967	V	14,8	13,9	13,7	14,3	13,3
1967	VI	16,7	15,7	15,6	17,1	15,4
1967	VII	20,8	19,6	19,2	20,8	19,7
1967	VIII	18,3	17,2	17,3	18,4	17,0
1967	IX	15,9	15,1	15,2	15,4	14,3
1967	X	12,2	11,7	11,3	12,3	11,0
1967	XI	5,0	4,3	4,5	4,0	2,7
1967	XII	1,5	0,8	1,0	0,6	−0,8
1968	I	−0,8	−1,1	−1,3	−1,5	−2,8
1968	II	1,0	0,4	0,5	1,5	0,0
1968	III	5,5	4,8	4,4	5,6	4,1
1968	IV	11,1	10,2	9,4	10,5	9,4
1968	V	12,2	11,4	11,1	12,8	11,6
1968	VI	19,0	18,1	17,4	18,3	16,9
1968	VII	18,3	17,3	16,7	18,4	17,1
1968	VIII	19,0	18,2	17,9	17,6	16,6
1968	IX	14,9	14,1	14,4	14,4	13,3
1968	X	10,8	10,3	10,2	10,5	9,3
1968	XI	4,7	3,8	4,3	4,2	2,9
1968	XII	−1,8	−2,6	−2,2	−1,8	−3,3
1969	I	−0,8	−1,1	−1,6	−1,0	−2,1
1969	II	−2,2	−2,7	−3,1	−1,4	−2,8

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1969	III	0,1	−0,4	−1,1	1,4	0,1
1969	IV	8,2	7,3	6,8	8,6	7,3
1969	V	14,6	13,8	13,1	16,2	15,2
1969	VI	17,4	16,4	16,1	16,9	15,7
1969	VII	20,9	19,7	19,1	20,4	19,2
1969	VIII	18,6	17,5	17,6	17,8	16,6
1969	IX	15,5	14,5	14,5	15,2	14,2
1969	X	11,1	10,6	10,1	9,9	9,0
1969	XI	6,3	5,5	5,6	6,0	4,7
1969	XII	−5,5	−6,2	−6,1	−5,3	−6,8
1970	I	−4,1	−4,7	−4,9	−2,5	−3,7
1970	II	−1,5	−2,2	−2,7	−0,5	−1,8
1970	III	1,7	1,1	0,6	2,4	0,9
1970	IV	6,5	5,8	5,3	7,4	6,0
1970	V	13,3	12,5	12,1	12,7	11,4
1970	VI	19,7	18,6	18,1	18,6	17,2
1970	VII	18,1	17,2	16,8	19,1	17,8
1970	VIII	19,5	18,1	18,0	18,2	17,1
1970	IX	14,1	13,1	13,1	14,2	13,0
1970	X	9,9	9,2	9,4	9,2	7,9
1970	XI	6,1	5,4	5,5	6,4	5,0
1970	XII	2,0	1,2	1,7	0,7	−0,8
1971	I	−0,6	−1,5	−1,7	−2,7	−4,4
1971	II	2,5	1,8	2,0	1,9	0,4
1971	III	2,4	1,8	1,2	1,9	0,3
1971	IV	8,6	8,2	7,4	10,1	8,7
1971	V	15,9	15,3	14,5	15,4	14,2
1971	VI	15,5	14,9	14,8	15,4	14,3
1971	VII	20,2	19,4	18,6	20,3	18,9
1971	VIII	20,7	19,5	19,3	20,8	19,4
1971	IX	13,4	12,5	12,5	12,9	11,6
1971	X	10,3	9,6	9,4	9,3	8,0
1971	XI	4,8	4,1	4,1	4,1	2,7
1971	XII	5,0	4,3	4,6	4,2	2,9
1972	I	−3,4	−3,7	−3,7	−2,3	−3,6
1972	II	2,1	1,8	0,7	2,2	0,9
1972	III	6,2	5,7	4,9	6,7	5,3
1972	IV	8,7	8,2	7,6	8,8	7,5
1972	V	12,8	12,4	11,8	13,7	12,6
1972	VI	16,9	16,1	15,7	17,4	16,0
1972	VII	20,2	19,4	18,8	20,1	18,9
1972	VIII	17,4	16,5	16,5	18,0	16,6
1972	IX	12,4	11,6	11,6	12,2	10,9
1972	X	7,9	7,0	7,2	7,1	5,8

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1972	XI	5,5	4,8	5,0	5,2	3,8
1972	XII	1,6	0,7	1,1	0,2	−1,1
1973	I	0,5	−0,1	−0,3	−0,2	−1,4
1973	II	2,9	2,1	2,3	1,9	0,4
1973	III	6,0	5,3	4,6	5,6	3,9
1973	IV	6,6	5,8	5,6	6,8	5,4
1973	V	13,7	12,9	12,5	14,5	13,3
1973	VI	17,9	17,4	16,9	17,8	16,4
1973	VII	19,6	18,7	18,6	18,8	17,6
1973	VIII	19,0	18,0	17,8	19,7	18,5
1973	IX	14,9	14,3	14,0	16,3	14,9
1973	X	8,2	7,6	7,7	8,1	6,9
1973	XI	3,9	3,3	3,3	3,2	1,8
1973	XII	0,8	0,2	0,4	0,2	−1,2
1974	I	3,7	3,3	2,9	3,0	1,7
1974	II	4,0	3,3	3,2	3,8	2,4
1974	III	6,3	6,0	4,9	7,7	6,2
1974	IV	9,1	8,8	8,0	9,7	8,3
1974	V	12,4	11,9	11,5	13,2	11,9
1974	VI	15,8	14,9	14,6	15,4	14,3
1974	VII	16,7	15,9	15,6	17,2	15,9
1974	VIII	19,1	18,0	17,9	19,5	18,3
1974	IX	14,8	14,0	14,1	14,8	13,4
1974	X	7,3	6,4	6,8	6,1	4,9
1974	XI	6,0	5,4	5,3	4,5	3,1
1974	XII	5,6	5,0	5,2	5,2	3,6
1975	I	5,4	4,8	4,9	3,9	2,4
1975	II	1,7	1,1	0,9	0,7	−1,0
1975	III	4,7	4,2	3,7	4,9	3,7
1975	IV	7,9	7,2	6,5	8,6	7,1
1975	V	13,7	13,1	12,2	14,1	12,3
1975	VI	17,1	16,4	15,6	16,6	15,2
1975	VII	20,7	19,8	19,3	20,1	18,5
1975	VIII	20,9	19,9	19,9	20,3	19,0
1975	IX	17,2	16,6	16,1	17,9	16,4
1975	X	8,3	7,8	8,1	8,2	6,8
1975	XI	3,2	2,5	2,9	3,2	1,7
1975	XII	3,0	2,4	2,6	1,4	0,1
1976	I	0,8	0,3	0,5	1,4	−0,2
1976	II	0,3	0,1	−0,9	0,8	−0,4
1976	III	1,5	1,0	0,6	1,7	−0,2
1976	IV	8,1	7,7	6,9	9,0	7,5
1976	V	14,0	13,4	12,6	14,8	13,6
1976	VI	18,6	18,1	17,2	19,0	17,7



rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1976	VII	21,0	20,4	19,6	21,1	19,9
1976	VIII	18,2	17,3	16,8	17,6	16,2
1976	IX	14,1	13,4	13,0	13,9	12,3
1976	X	9,7	9,3	9,0	10,8	9,4
1976	XI	5,9	5,2	5,0	5,8	4,2
1976	XII	0,0	-0,7	-0,5	-0,6	-2,2
1977	I	0,9	0,1	-0,3	-0,3	-1,8
1977	II	3,0	2,4	1,7	2,6	1,2
1977	III	6,6	6,3	5,7	7,5	5,5
1977	IV	6,8	6,1	5,6	7,3	5,7
1977	V	13,4	12,8	12,3	14,0	12,3
1977	VI	17,9	17,1	16,7	17,8	16,1
1977	VII	17,6	16,9	16,5	18,4	16,2
1977	VIII	17,4	16,8	16,6	17,7	16,1
1977	IX	12,7	12,0	12,3	12,8	11,3
1977	X	10,8	10,3	9,9	10,1	8,5
1977	XI	6,5	5,8	5,9	5,8	4,5
1977	XII	3,1	2,4	2,9	1,0	-0,4
1978	I	1,7	1,1	1,3	1,1	-0,5
1978	II	-0,5	-1,1	-1,6	-1,4	-3,2
1978	III	6,1	5,4	4,8	5,9	4,2
1978	IV	7,9	7,4	6,5	8,6	6,9
1978	V	13,7	13,1	13,0	12,9	11,4
1978	VI	17,1	16,1	15,8	16,5	14,6
1978	VII	17,6	16,7	16,0	17,4	15,6
1978	VIII	17,2	16,2	16,1	16,8	15,1
1978	IX	12,7	12,1	12,0	13,5	12,1
1978	X	10,5	9,9	9,9	9,5	8,1
1978	XI	5,8	5,2	5,6	4,1	2,8
1978	XII	-0,5	-1,0	-0,8	1,6	0,2
1979	I	-3,6	-4,1	-4,8	-4,2	-5,8
1979	II	-2,6	-3,0	-3,9	0,1	-1,8
1979	III	3,7	3,1	2,3	5,2	3,7
1979	IV	7,9	7,3	7,0	8,2	6,3
1979	V	14,6	13,8	13,2	15,3	13,4
1979	VI	19,1	18,2	17,8	20,1	18,2
1979	VII	16,2	15,2	15,1	16,6	14,7
1979	VIII	17,9	16,9	17,0	17,9	16,0
1979	IX	14,7	13,7	13,8	14,4	12,7
1979	X	8,3	7,6	8,0	8,2	6,2
1979	XI	4,6	3,8	3,8	4,5	2,9
1979	XII	4,2	3,6	3,6	4,6	3,1
1980	I	-3,6	-3,9	-4,4	-3,4	-5,4
1980	II	1,3	0,8	0,2	2,7	1,0

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1980	III	2,6	2,3	1,4	3,8	2,1
1980	IV	7,2	6,5	6,3	6,7	5,1
1980	V	11,8	11,4	10,9	11,9	9,8
1980	VI	16,7	15,9	15,7	16,8	14,8
1980	VII	16,8	16,1	16,1	16,4	14,9
1980	VIII	17,5	16,8	16,6	18,4	16,6
1980	IX	14,7	14,0	13,7	14,0	12,5
1980	X	9,3	8,6	8,6	9,0	7,3
1980	XI	4,0	3,4	4,0	3,4	1,8
1980	XII	2,0	1,3	1,4	0,9	-0,8
1981	I	-0,5	-1,1	-1,3	-2,1	-3,7
1981	II	1,0	0,4	0,6	0,7	-1,0
1981	III	7,2	6,6	5,7	8,1	6,5
1981	IV	8,6	7,9	7,3	8,9	7,1
1981	V	15,6	14,7	14,6	14,9	13,3
1981	VI	17,3	16,6	16,3	18,2	16,4
1981	VII	18,4	17,3	17,4	18,1	16,5
1981	VIII	17,6	16,7	16,9	18,6	16,5
1981	IX	15,5	14,4	14,3	15,4	13,9
1981	X	9,3	8,6	8,2	9,6	8,1
1981	XI	5,3	4,7	4,9	5,3	3,8
1981	XII	-2,4	-3,2	-3,5	-1,7	-3,5
1982	I	-2,2	-2,8	-3,3	-4,1	-5,7
1982	II	0,2	-0,2	-0,8	-0,2	-1,8
1982	III	5,7	4,8	4,4	5,8	3,9
1982	IV	8,0	7,3	6,9	7,7	5,8
1982	V	14,4	13,5	13,0	15,2	13,4
1982	VI	17,8	17,2	16,4	18,9	16,8
1982	VII	21,1	20,3	19,4	21,0	19,0
1982	VIII	20,4	19,0	18,4	19,4	17,7
1982	IX	17,8	17,0	16,0	17,7	15,9
1982	X	11,1	10,4	10,5	10,6	9,1
1982	XI	6,9	6,0	6,2	5,5	3,9
1982	XII	3,0	2,3	2,4	2,8	1,3
1983	I	5,2	4,5	4,7	4,4	2,8
1983	II	-0,4	-1,3	-1,1	-1,5	-3,7
1983	III	5,7	5,0	5,0	5,7	3,8
1983	IV	9,8	9,3	8,7	10,9	9,4
1983	V	13,7	13,0	12,9	14,5	12,7
1983	VI	18,1	17,4	16,7	18,2	16,2
1983	VII	22,2	21,5	20,6	23,0	20,8
1983	VIII	19,9	19,0	19,1	19,8	17,8
1983	IX	15,2	14,3	14,5	15,2	13,5
1983	X	10,2	9,5	9,6	10,7	8,8

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1983	XI	4,8	4,1	4,2	3,2	1,7
1983	XII	1,1	0,2	0,3	0,3	-1,4
1984	I	1,9	1,2	1,3	1,2	-0,7
1984	II	0,5	-0,2	-0,1	0,3	-1,8
1984	III	2,9	2,3	2,1	3,5	1,6
1984	IV	8,9	8,3	7,5	8,5	6,6
1984	V	13,7	13,0	12,6	13,2	11,6
1984	VI	15,0	14,3	13,8	16,0	14,1
1984	VII	17,0	16,0	15,6	17,5	15,8
1984	VIII	19,3	18,2	18,0	18,7	16,7
1984	IX	13,6	12,9	12,7	13,5	11,9
1984	X	11,3	10,6	10,7	11,1	9,4
1984	XI	4,6	4,0	4,2	5,3	3,7
1984	XII	0,7	0,1	0,6	0,8	-0,5
1985	I	-5,0	-5,6	-5,6	-5,7	-7,6
1985	II	-2,8	-3,3	-3,1	-3,3	-5,0
1985	III	4,0	3,3	2,9	4,1	2,4
1985	IV	8,9	8,2	7,8	9,3	7,7
1985	V	15,7	15,2	14,3	15,5	13,9
1985	VI	15,3	14,5	14,3	15,2	13,5
1985	VII	19,0	18,1	17,6	19,5	17,6
1985	VIII	18,5	17,4	17,2	18,9	17,1
1985	IX	14,3	13,6	13,5	15,1	13,3
1985	X	9,9	9,4	9,6	9,5	7,7
1985	XI	2,0	1,5	1,5	1,6	0,1
1985	XII	4,5	3,8	3,6	4,3	2,9
1986	I	0,6	-0,2	-0,1	0,6	-0,9
1986	II	-6,5	-7,0	-7,2	-5,6	-7,8
1986	III	3,8	3,2	2,4	4,5	2,8
1986	IV	7,4	7,0	6,5	10,1	8,2
1986	V	16,0	15,3	14,8	16,9	14,9
1986	VI	17,5	17,0	16,4	17,8	15,8
1986	VII	19,4	18,5	17,8	19,0	17,0
1986	VIII	18,2	17,1	16,8	18,5	16,9
1986	IX	12,4	11,6	11,6	13,4	11,5
1986	X	10,3	9,5	9,7	10,2	8,6
1986	XI	7,1	6,4	6,6	5,6	4,0
1986	XII	2,5	1,8	2,3	1,9	0,4
1987	I	-6,9	-7,2	-6,6	-6,0	-7,8
1987	II	-0,3	-0,9	-1,3	-0,2	-2,0
1987	III	0,5	-0,2	-0,4	0,0	-2,2
1987	IV	10,0	9,6	8,9	10,7	8,8
1987	V	11,4	10,8	10,4	12,2	10,3
1987	VI	15,7	14,8	14,5	16,3	14,6

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1987	VII	18,5	17,9	17,3	19,4	17,3
1987	VIII	16,5	15,6	15,6	17,0	15,4
1987	IX	14,8	13,9	13,9	16,2	14,8
1987	X	10,0	9,2	9,6	10,1	8,4
1987	XI	6,2	5,5	6,0	5,5	3,9
1987	XII	2,7	2,0	2,3	2,4	0,9
1988	I	3,9	3,4	3,5	3,1	1,7
1988	II	3,2	2,5	2,8	2,7	1,2
1988	III	3,1	2,4	2,5	3,2	1,8
1988	IV	9,3	8,7	7,8	10,1	8,1
1988	V	16,3	15,6	14,8	16,3	14,5
1988	VI	16,8	16,1	15,5	17,1	15,2
1988	VII	19,1	18,2	17,9	19,4	17,5
1988	VIII	18,8	17,6	17,5	19,2	17,1
1988	IX	14,6	13,8	14,1	14,8	13,4
1988	X	10,3	9,6	9,8	10,5	8,8
1988	XI	3,4	2,9	3,2	2,0	0,4
1988	XII	3,7	3,1	3,6	3,3	1,8
1989	I	3,8	3,1	3,5	1,9	0,3
1989	II	4,6	3,9	4,2	4,2	2,7
1989	III	7,7	7,0	6,7	8,3	6,5
1989	IV	9,0	8,3	8,3	9,9	7,9
1989	V	15,8	15,1	14,5	15,6	13,5
1989	VI	17,7	16,8	16,7	17,2	15,0
1989	VII	19,4	18,7	18,4	19,7	17,6
1989	VIII	18,8	17,9	17,6	19,2	17,2
1989	IX	16,9	15,9	16,0	16,0	14,3
1989	X	11,9	11,1	11,1	11,2	9,7
1989	XI	3,3	2,5	3,2	2,6	0,7
1989	XII	3,0	2,3	2,3	2,3	0,6
1990	I	4,1	3,4	3,9	2,0	0,3
1990	II	6,8	6,3	5,9	6,1	4,5
1990	III	8,4	7,7	7,2	8,7	6,7
1990	IV	9,5	8,7	8,6	8,8	7,1
1990	V	15,8	14,9	14,7	16,1	13,9
1990	VI	17,1	16,4	16,2	17,9	16,2
1990	VII	18,2	17,6	17,1	19,3	17,2
1990	VIII	19,9	18,9	18,6	20,6	19,0
1990	IX	13,0	12,2	12,3	12,9	11,4
1990	X	10,9	10,2	10,5	10,5	8,6
1990	XI	5,4	4,8	5,3	5,2	3,7
1990	XII	1,2	0,7	1,1	0,9	-0,6
1991	I	2,5	1,9	2,0	2,0	0,5
1991	II	-2,2	-2,7	-3,0	-2,3	-4,3

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1991	III	6,9	6,7	5,6	6,9	5,2
1991	IV	8,5	8,0	7,8	8,5	7,0
1991	V	10,9	10,4	10,2	10,9	9,2
1991	VI	15,0	14,3	14,2	16,2	14,5
1991	VII	21,0	20,3	19,8	20,8	18,8
1991	VIII	19,4	18,3	18,0	19,3	17,5
1991	IX	16,4	15,5	14,9	16,1	14,6
1991	X	9,6	8,9	9,1	8,8	7,2
1991	XI	4,9	4,4	4,7	3,8	2,2
1991	XII	1,9	1,3	1,8	-0,1	-1,6
1992	I	1,6	1,1	1,5	1,9	0,6
1992	II	4,2	3,5	3,4	3,2	1,9
1992	III	5,5	5,0	4,9	5,0	3,7
1992	IV	9,3	8,7	8,5	9,6	7,9
1992	V	15,6	15,0	15,0	16,2	14,4
1992	VI	20,6	19,9	19,5	19,5	17,7
1992	VII	20,9	19,9	19,7	20,9	19,2
1992	VIII	21,0	20,1	19,2	22,5	20,8
1992	IX	14,4	13,6	13,8	15,5	13,8
1992	X	6,6	6,0	6,0	8,1	6,5
1992	XI	5,4	4,7	5,0	5,1	3,5
1992	XII	1,2	0,6	1,3	0,4	-0,9
1993	I	2,5	2,0	2,2	2,6	0,6
1993	II	0,5	-0,1	0,3	-1,8	-3,5
1993	III	4,6	4,0	3,7	4,1	2,3
1993	IV	11,6	11,1	10,4	11,6	10,1
1993	V	16,9	15,9	15,8	17,2	15,6
1993	VI	16,5	15,7	15,5	17,4	15,8
1993	VII	17,3	16,3	16,2	18,0	16,4
1993	VIII	17,0	16,0	15,8	18,8	16,7
1993	IX	13,2	12,3	12,6	13,9	12,2
1993	X	9,2	8,5	8,6	9,0	7,3
1993	XI	0,3	0,1	0,7	1,5	-0,1
1993	XII	3,7	3,1	3,3	4,1	2,7
1994	I	3,6	3,0	3,2	3,5	2,1
1994	II	-0,5	-0,9	-1,0	0,3	-1,3
1994	III	6,3	5,6	5,3	7,4	6,0
1994	IV	10,0	9,3	9,1	9,5	7,8
1994	V	13,9	13,2	13,4	14,3	12,7
1994	VI	17,0	15,9	16,0	18,5	16,2
1994	VII	23,7	22,3	22,8	23,7	21,8
1994	VIII	19,4	18,3	18,4	20,0	18,4
1994	IX	14,4	13,5	13,9	15,2	13,6
1994	X	8,2	7,4	7,5	7,7	6,3

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1994	XI	7,0	6,6	6,8	7,3	5,8
1994	XII	4,0	3,5	3,7	3,0	1,8
1995	I	0,9	0,2	0,7	0,1	-1,5
1995	II	5,2	4,5	4,6	5,6	3,9
1995	III	4,2	3,5	3,6	4,0	2,4
1995	IV	9,1	8,8	8,4	10,0	8,5
1995	V	13,8	13,1	13,0	14,1	12,4
1995	VI	16,0	15,2	15,5	15,9	14,5
1995	VII	22,0	21,2	20,8	22,3	20,4
1995	VIII	20,6	19,5	19,7	19,6	17,9
1995	IX	14,3	13,5	13,6	13,9	12,5
1995	X	12,4	11,9	12,0	11,9	10,2
1995	XI	2,6	2,1	2,7	2,1	0,7
1995	XII	-2,8	-3,2	-3,1	-1,1	-2,7
1996	I	-4,0	-4,4	-3,8	-3,1	-4,5
1996	II	-2,5	-3,0	-3,2	-2,3	-3,9
1996	III	0,9	0,8	0,5	1,2	-0,4
1996	IV	10,3	9,8	8,9	10,2	8,5
1996	V	12,6	11,9	12,1	13,5	11,9
1996	VI	17,0	16,1	16,1	17,7	16,0
1996	VII	16,9	16,1	16,3	17,6	15,7
1996	VIII	19,1	18,3	18,9	18,4	16,7
1996	IX	11,9	11,3	11,8	11,4	10,0
1996	X	10,5	9,6	9,6	10,5	9,0
1996	XI	5,5	4,7	5,4	5,7	4,2
1996	XII	-2,4	-3,0	-2,4	-3,3	-5,2
1997	I	-2,1	-2,5	-2,9	-3,2	-4,6
1997	II	4,8	4,0	4,0	4,1	2,3
1997	III	5,9	5,3	5,1	6,0	4,6
1997	IV	7,2	6,6	6,6	6,8	5,3
1997	V	14,0	13,6	12,8	15,2	13,3
1997	VI	18,1	17,3	17,1	17,8	16,0
1997	VII	19,6	18,8	18,8	18,6	17,1
1997	VIII	22,4	21,1	21,3	20,8	18,9
1997	IX	15,2	14,5	14,1	15,1	13,5
1997	X	8,7	8,0	8,1	8,0	6,5
1997	XI	3,9	3,3	3,7	3,9	2,4
1997	XII	2,3	1,6	1,9	2,4	1,1
1998	I	3,2	2,7	2,5	2,0	0,4
1998	II	6,2	5,4	5,6	5,2	3,6
1998	III	5,2	4,6	4,8	5,4	3,9
1998	IV	10,9	10,1	9,9	11,6	10,0
1998	V	15,8	15,3	14,9	15,8	14,3
1998	VI	18,0	17,3	17,2	18,8	17,2

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlov	Ruzyně
1998	VII	18,0	17,0	16,8	18,7	17,0
1998	VIII	17,7	17,1	16,6	19,1	17,6
1998	IX	14,5	13,9	14,2	14,1	12,7
1998	X	9,0	8,3	8,8	9,8	8,5
1998	XI	1,7	1,3	1,6	2,0	0,6
1998	XII	1,0	0,5	0,6	0,9	−0,7
1999	I	3,2	2,8	2,9	1,8	0,5
1999	II	1,6	1,1	1,2	0,5	−1,3
1999	III	5,7	5,4	4,9	6,5	4,9
1999	IV	10,4	10,0	9,8	10,5	9,0
1999	V	14,9	14,2	13,9	15,6	14,2
1999	VI	17,2	16,3	16,2	16,9	15,3
1999	VII	21,4	20,6	20,4	20,8	18,8
1999	VIII	19,1	18,1	18,0	19,1	17,3
1999	IX	18,5	17,9	17,6	18,2	16,8
1999	X	10,1	9,5	9,8	10,0	8,4
1999	XI	4,3	3,7	4,3	3,7	2,1
1999	XII	2,8	2,3	2,7	2,3	0,7
2000	I	1,6	1,0	1,6	0,3	−1,1
2000	II	4,5	3,9	4,2	4,5	3,1
2000	III	5,6	5,2	5,2	5,4	4,1
2000	IV	12,1	11,1	11,0	12,9	11,0
2000	V	16,8	16,1	15,7	17,1	15,6
2000	VI	19,0	18,2	17,4	19,7	17,9
2000	VII	17,0	16,3	16,2	17,1	15,6
2000	VIII	18,8	18,1	17,5	20,8	19,0
2000	IX	14,5	13,9	14,1	14,9	13,5
2000	X	12,4	11,6	11,9	12,1	10,6
2000	XI	7,1	6,2	6,8	6,5	5,2
2000	XII	3,3	2,8	3,1	2,2	0,8
2001	I	1,2	0,6	1,0	0,1	−1,6
2001	II	2,0	1,7	1,5	2,7	0,9
2001	III	3,4	3,2	2,9	5,2	3,8
2001	IV	8,5	8,2	7,6	8,7	7,2
2001	V	15,1	15,0	14,6	16,3	14,4
2001	VI	15,2	14,8	14,6	16,1	14,3
2001	VII	20,4	19,7	19,5	19,9	18,3
2001	VIII	19,9	19,2	19,0	20,3	18,6
2001	IX	13,1	12,5	12,8	12,8	11,7
2001	X	13,1	12,5	12,7	13,0	11,8
2001	XI	4,5	4,0	4,4	3,6	2,3
2001	XII	0,1	−0,4	0,3	−1,0	−2,1
2002	I	2,2	1,6	2,0	1,1	0,1
2002	II	5,5	5,1	5,0	5,6	4,3

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlov	Ruzyně
2002	III	5,7	5,5	5,1	6,2	4,6
2002	IV	8,8	8,5	8,4	9,6	8,2
2002	V	15,8	15,3	15,0	17,3	15,4
2002	VI	18,0	17,4	17,4	19,4	17,6
2002	VII	19,6	18,7	18,6	20,3	18,8
2002	VIII	21,2	20,5	20,8	20,7	19,3
2002	IX	15,2	14,5	14,7	14,2	12,7
2002	X	8,4	8,0	8,1	8,8	7,7
2002	XI	4,4	3,9	4,3	5,6	4,3
2002	XII	−2,0	−2,2	−1,5	−0,9	−2,0
2003	I	0,0	−0,4	−0,5	0,0	−1,6
2003	II	−1,6	−2,1	−1,9	−1,5	−3,4
2003	III	4,9	4,6	4,3	6,5	4,6
2003	IV	9,2	9,1	8,7	9,8	8,1
2003	V	15,8	15,3	15,0	17,0	15,3
2003	VI	20,0	19,4	19,1	21,7	20,1
2003	VII	20,6	20,2	19,9	20,7	19,1
2003	VIII	21,1	20,7	20,1	22,7	21,1
2003	IX	15,6	15,2	14,7	15,8	14,3
2003	X	6,6	6,1	6,4	7,2	5,5
2003	XI	6,5	6,1	6,4	6,2	4,5
2003	XII	2,8	2,2	2,7	1,6	−0,1
2004	I	−1,2	−1,5	−1,1	−1,8	−3,4
2004	II	3,0	2,6	2,7	3,3	1,8
2004	III	5,4	5,0	4,8	5,1	3,6
2004	IV	10,2	10,1	9,6	11,1	9,5
2004	V	13,1	12,8	12,6	13,6	11,9
2004	VI	16,3	15,7	15,4	17,6	15,8
2004	VII	18,1	17,4	17,1	19,8	17,7
2004	VIII	20,2	19,5	19,3	20,8	19,1
2004	IX	15,0	14,5	14,3	15,7	14,0
2004	X	10,7	10,0	9,9	11,1	9,5
2004	XI	4,9	4,4	4,4	5,4	3,7
2004	XII	2,5	1,9	2,4	1,4	0,0
2005	I	3,2	2,7	2,7	2,4	0,8
2005	II	−0,3	−0,6	−0,2	−1,1	−3,1
2005	III	3,6	3,5	3,3	4,1	2,0
2005	IV	10,4	10,3	9,4	11,8	10,1
2005	V	14,1	13,5	13,1	15,4	14,0
2005	VI	17,2	16,5	16,1	18,5	16,5
2005	VII	19,4	18,7	18,6	20,0	18,5
2005	VIII	17,2	16,5	16,4	18,1	16,6
2005	IX	16,3	15,7	15,6	16,7	15,0
2005	X	11,8	11,1	11,3	11,7	9,9

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
2005	XI	5,0	4,5	4,6	4,1	2,6
2005	XII	1,5	1,1	1,3	1,1	-0,4
2006	I	-3,7	-3,8	-3,6	-3,7	-5,3
2006	II	0,1	-0,3	-0,4	-0,2	-2,0
2006	III	1,7	1,3	0,5	2,8	1,2
2006	IV	9,3	8,7	8,2	10,3	8,9
2006	V	14,4	14,0	13,5	15,2	13,5
2006	VI	18,8	18,1	17,5	19,5	17,7
2006	VII	24,4	23,6	23,0	24,7	22,4
2006	VIII	17,7	16,9	17,1	17,4	15,8
2006	IX	18,5	17,9	17,6	18,6	16,7
2006	X	12,8	12,3	12,6	12,4	10,8
2006	XI	7,9	7,4	7,4	7,5	6,0
2006	XII	5,7	5,2	5,4	3,9	3,3
2007	I	5,5	5,0	5,0	4,9	4,2
2007	II	3,6	3,6	3,1	4,4	3,7
2007	III	7,8	7,4	7,0	7,4	5,9
2007	IV	12,1	12,1	11,1	13,2	11,7
2007	V	15,9	15,5	15,0	16,6	15,1
2007	VI	19,1	18,8	18,1	20,3	18,6
2007	VII	18,8	18,1	17,7	20,2	18,7
2007	VIII	18,7	18,0	17,8	19,4	18,3
2007	IX	13,8	13,3	13,2	13,0	12,4
2007	X	8,8	8,4	8,5	9,0	8,1
2007	XI	4,1	3,7	3,9	2,8	2,1
2007	XII	2,4	2,0	2,4	0,9	0,2
2008	I	4,0	3,6	3,6	3,1	2,2
2008	II	5,1	4,6	4,3	4,4	3,5
2008	III	4,9	4,7	4,5	5,5	3,7
2008	IV	8,9	8,7	8,2	10,1	8,2
2008	V	15,6	15,8	14,9	16,1	14,1
2008	VI	19,2	18,5	17,6	20,1	17,7
2008	VII	20,1	19,1	18,8	20,4	18,5
2008	VIII	19,1	18,3	17,9	20,3	18,2
2008	IX	13,9	13,3	13,5	14,5	12,7
2008	X	10,0	9,4	9,5	10,2	8,6
2008	XI	6,0	5,5	5,7	5,9	4,6
2008	XII	2,0	1,4	1,9	2,7	1,0
rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně

**Příloha 3:** Vývoj intenzity městských tepelných ostrovů ( ve °C) podle jednotlivých ročních období v jednotlivých letech (1961–2008) modře – vyšší než průměr, červeně – nižší než průměr

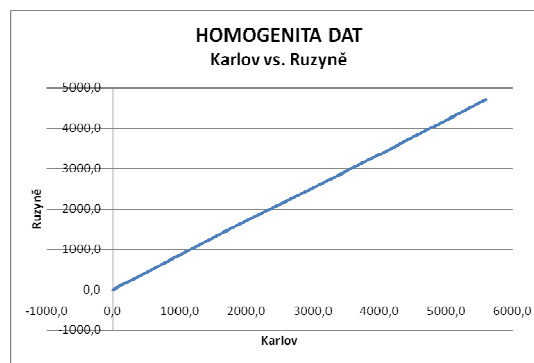
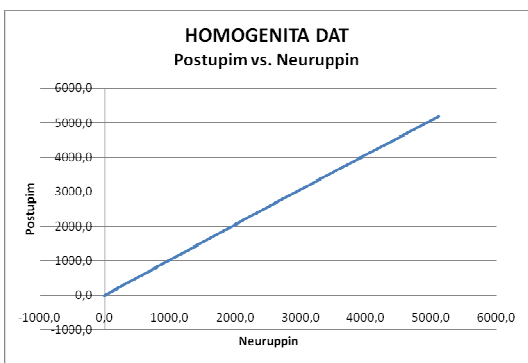
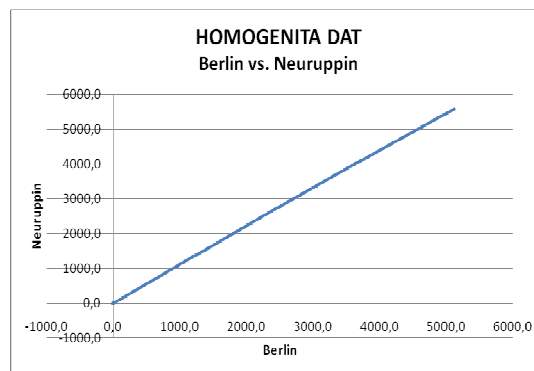
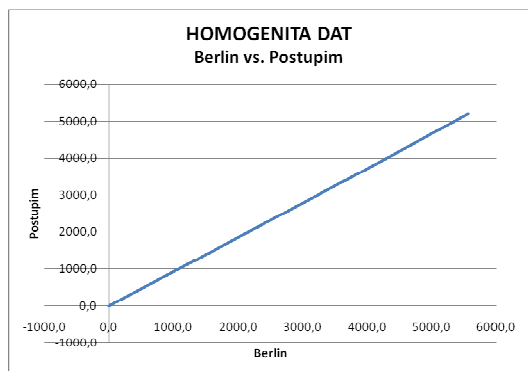
Praha	zima	jaro	léto	podzim	rok
1961		0,66	0,52	0,50	
1962	0,80	0,63	0,56	0,48	0,61
1963	0,82	0,53	0,56	0,56	0,62
1964	0,84	0,59	0,47	0,57	0,62
1965	0,80	0,69	0,68	0,53	0,67
1966	0,76	0,49	0,40	0,63	0,57
1967	0,73	0,62	0,71	0,60	0,66
1968	0,74	0,60	0,55	0,55	0,61
1969	0,63	0,52	0,54	0,45	0,54
1970	0,68	0,68	0,60	0,62	0,65
1971	0,88	0,72	0,66	0,63	0,73
1972	0,63	0,58	0,65	0,70	0,64
1973	0,64	0,73	0,59	0,68	0,66
1974	0,71	0,75	0,57	0,66	0,67
1975	0,92	0,84	0,74	0,79	0,82
1976	0,70	0,83	0,64	0,89	0,76
1977	0,85	1,10	1,18	0,79	0,98
1978	0,91	1,02	1,14	0,69	0,94
1979	0,98	1,08	1,19	1,07	1,08
1980	1,08	1,12	1,07	0,95	1,05
1981	1,02	1,02	1,14	0,85	1,01
1982	1,02	1,17	1,25	1,00	1,11
1983	1,05	1,06	1,40	1,05	1,14
1984	1,22	1,11	1,21	0,96	1,13
1985	1,01	0,98	1,15	1,07	1,05
1986	1,05	1,16	1,24	1,00	1,11
1987	1,05	1,36	1,11	0,89	1,10
1988	0,83	1,10	1,22	0,93	1,02
1989	0,86	1,27	1,42	1,03	1,14
1990	1,00	1,29	1,13	0,97	1,10
1991	1,02	0,95	1,16	0,92	1,01
1992	0,73	0,92	1,10	0,93	0,92
1993	0,98	0,95	1,08	1,00	1,00
1994	0,77	0,91	1,26	0,85	0,95
1995	0,82	0,97	0,98	0,82	0,90
1996	0,84	0,94	1,10	0,77	0,91
1997	1,01	0,90	1,07	0,89	0,97
1998	0,86	0,89	0,94	0,72	0,85
1999	0,89	0,83	1,13	0,86	0,93
2000	0,80	0,90	1,03	0,73	0,86
2001	0,96	0,93	1,03	0,53	0,86
2002	0,46	0,96	0,90	0,63	0,74
2003	0,86	1,10	0,93	0,96	0,96
2004	0,93	0,93	1,20	1,00	1,01
2005	1,00	1,06	1,00	1,00	1,01
2006	0,96	0,90	1,23	1,00	1,02
2007	0,00	0,83	0,76	0,06	0,41
2008	0,16	1,23	1,46	0,90	0,94
průměr	0,83	0,91	0,96	0,79	0,87

zdroj: ČHMÚ

Berlín	zima	jaro	léto	podzim	rok
1961		0,57	0,79	0,57	
1962	0,32	0,79	0,82	0,49	0,60
1963	0,85	0,95	1,14	0,71	0,92
1964	0,56	0,75	0,84	0,59	0,69
1965	0,44	0,86	0,86	0,60	0,69
1966	0,58	0,81	0,66	0,61	0,67
1967	0,42	0,80	1,12	0,64	0,74
1968	0,45	0,96	1,12	0,55	0,77
1969	0,52	0,99	1,15	0,77	0,86
1970	0,69	0,89	1,28	0,66	0,88
1971	0,65	0,82	0,98	0,74	0,80
1972	0,50	0,71	0,92	0,67	0,70
1973	0,59	0,88	0,88	0,56	0,73
1974	0,56	0,71	0,98	0,62	0,72
1975	0,51	0,86	0,99	0,54	0,73
1976	0,51	0,76	0,94	0,69	0,73
1977	0,78	0,74	0,83	0,61	0,74
1978	0,55	0,76	1,08	0,50	0,72
1979	0,61	0,84	0,94	0,69	0,77
1980	0,59	0,67	0,72	0,50	0,62
1981	0,54	0,88	0,84	0,80	0,77
1982	0,77	0,99	1,22	0,84	0,95
1983	0,63	0,68	0,93	0,62	0,72
1984	0,65	0,78	1,01	0,56	0,75
1985	0,40	0,84	1,00	0,48	0,68
1986	0,63	0,80	1,05	0,62	0,77
1987	0,35	0,69	0,89	0,54	0,62
1988	0,44	0,87	1,01	0,46	0,70
1989	0,40	0,80	0,88	0,66	0,69
1990	0,52	0,85	0,83	0,50	0,67
1991	0,41	0,56	0,92	0,62	0,63
1992	0,39	0,55	1,03	0,52	0,62
1993	0,28	0,78	0,93	0,35	0,59
1994	0,39	0,66	1,00	0,53	0,65
1995	0,44	0,54	0,81	0,43	0,55
1996	0,32	0,55	0,60	0,50	0,49
1997	0,48	0,63	0,88	0,61	0,65
1998	0,52	0,67	0,80	0,30	0,57
1999	0,35	0,57	0,90	0,43	0,56
2000	0,28	0,72	0,92	0,52	0,61
2001	0,32	0,35	0,63	0,35	0,41
2002	0,27	0,40	0,63	0,35	0,41
2003	0,17	0,40	0,60	0,35	0,38
2004	0,20	0,35	0,73	0,55	0,46
2005	0,25	0,45	0,73	0,50	0,48
2006	0,18	0,70	0,87	0,47	0,55
2007	0,32	0,52	0,72	0,33	0,47
2008	0,35	0,27	1,03	0,42	0,52
průměr	0,47	0,71	0,91	0,55	0,66

zdroj: DWD

**Příloha 4:** Výsledky testování homogenity dat pomocí metody podvojně součtové čáry  
(data mohou být prohlášena za homogenní, pokud není přímka zalomena, přerušena, či jinak nehomogenní)



**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

Katedra fyzické geografie a geoekologie



**VÝVOJ INTENZITY TEPELNÉHO OSTROVA V PRAZE A  
BERLÍNĚ V OBDOBÍ 1961–2008**

Heat-island intensity development in Prague and Berlin during the period 1961–2008

*(bakalářská práce)*

Aleš URBAN

Vedoucí práce: RNDr. Jiří KASTNER

Praha 2009



Rád bych poděkoval panu RNDr. Jiřímu Kastnerovi za vedení mé bakalářské práce, cenné připomínky a rady. Dále děkuji své rodině za podporu během zpracovávání bakalářské práce i během celého studia.

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval sám a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje. Svoluji zapůjčení této práce ke studijním účelům.

V Praze dne 15. 8. 2009

.....

Aleš Urban

## ABSTRAKT

Městský tepelný ostrov je klimatický jev charakteristický nepřírodným zahříváním zemského povrchu a atmosféry ve městech ve srovnání s jejich okolím (Voogt, 2004). Cílem této práce je porovnat vývoj intenzity městského tepelného ostrova dvou evropských metropolí – Prahy a Berlína – za období 1961–2008. Předpokladem bylo, že se rozdíl teploty vzduchu mezi meteorologickou stanicí v centru města a příměstskou stanicí zvyšuje ve prospěch stanice v centru města. U Berlína se tento předpoklad nepodařilo potvrdit z důvodu umístění městské stanice na letišti Tempelhof a zároveň z důvodu relativně značného oteplování příměstské stanice v Neuruppinu. Roční intenzita Berlínského tepelného ostrova (při přepočtu všech stanic na stejnou nadmořskou výšku) činí v průměru  $0,66\text{ }^{\circ}\text{C}$  s poklesem za sledované období o  $0,0071\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ . Největší intenzity dosahuje tepelný ostrov v létě ( $0,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), nejmenší v zimě ( $0,47\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). V případě Prahy se předpoklad potvrdil. Průměrná intenzita tepelného ostrova činí za sledované období  $0,87\text{ }^{\circ}\text{C}$  s průměrným meziročním růstem o  $0,0066\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Největší intenzity dosahuje pražský tepelný ostrov v létě ( $0,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), nejmenší na podzim ( $0,79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

**Klíčová slova:** městský tepelný ostrov, intenzita tepelného ostrova, teplota vzduchu, Praha, Berlín, Postupim, Neuruppin

## ABSTRACT

The urban heat island is the climate effect characteristic by unnatural warming of the urban surface and atmosphere compared to their surroundings. The aim of this paper is to compare the heat-island intensity development of two European cities – Prague and Berlin – for the period 1961–2008. Our hypothesis was that the air temperature differences between urban stations and suburban stations increases for the benefit of the urban stations. In the case of Berlin the hypothesis was not confirmed because of location of the urban station on the Tempelhof airport area. The second cause is relatively fast warming of the suburban station in Neuruppin. The average annual heat-island intensity in Berlin (when the elevation of all stations is reduced on the same level) is 0,66 °C with average decrease by 0,0071 °C/year (in 1961–2008). The highest intensity reaches Berlin in summer (0,91 °C) and the lowest in winter (0,47 °C). In the case of Prague the hypothesis was confirmed. The average intensity is 0,87 °C. The average annual growth is 0,0066 °C/year. The highest intensity is in Prague in summer (0,96 °C) and the lowest in autumn (0,79 °C).

**Keywords:** urban heat island, heat-island intensity, air temperature, Prague, Berlin, Potsdam, Neuruppin

# OBSAH

<b>1 ÚVOD</b>	<b>6</b>
1.1 Cíl práce	6
1.2 Fyzicko-geografická charakteristika	6
1.2.1 Berlín	7
1.2.2 Praha	9
<b>2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY MĚSTSKÉHO TEPELNÉHO OSTROVA</b>	<b>12</b>
2.1 Definice města	12
2.2 Městský tepelný ostrov	12
<b>3 METODY ZPRACOVÁNÍ</b>	<b>16</b>
3.1 Zdroje dat	16
3.2 Homogenita dat	16
3.3 Metody a výpočty	16
<b>4 VÝSLEDKY</b>	<b>19</b>
4.1 Teplota vzduchu	19
4.1.1 Trendy vývoje teploty vzduchu za jednotlivá roční období	19
4.1.2 Shrnutí výsledků	25
4.2. Intenzita městského tepelného ostrova Prahy a Berlína	26
4.2.1 Analýza vývoje intenzity	26
4.2.2 Shrnutí analýzy	32
<b>5 DISKUZE</b>	<b>34</b>
5.1 Berlín	34
5.2 Praha	36
5.3 Severoatlantská oscilace	39
5.4 Vliv měst na globální klima	43
<b>6 ZÁVĚR</b>	<b>47</b>
<b>7 ZDROJE</b>	<b>48</b>
7.1 Použitá literatura	48
7.2 Internetové a další zdroje	50
7.2.1 Internetové zdroje	50
7.2.2 Zdroje dat	51
<b>SEZNAM GRAFŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK</b>	<b>52</b>
<b>PŘÍLOHY</b>	<b>54</b>

# 1 ÚVOD

## 1.1 Cíl práce

V současné době se ve světě hodně diskutuje o globálním oteplování. Z čistě vědecké diskuze o vlivu člověka na tyto procesy a jeho možnostech zmírnit či zvrátit jejich rychlost a trendy se díky mnoha neziskovým (ale i ziskovým) organizacím a politikům toto téma stalo velmi populární a obecně diskutované. Pokud ovšem mohou běžní občané někde pozorovat negativní vlivy člověka na okolní prostředí, tak jsou to zejména obyvatelé velkých měst, jejichž atmosféra má díky vlastnostem městského povrchu specifický charakter, který můžeme pojmenovat **městský tepelný ostrov**. Takový jev je podle Voogta (2004) charakteristický nepřírodným zahříváním zemského povrchu a atmosféry ve městech ve srovnání s jejich neurbanizovaným okolím.

Tato práce porovnává vývoje intenzity městských tepelných ostrovů dvou metropolí ve střední Evropě – Prahy a Berlína. Berlín, jako srovnání pro Prahu, jsem si zvolil mimo podobné zeměpisné polohy hlavně kvůli snadné dostupnosti dat na stránkách německého meteorologického ústavu (Deutscher Wetterdienst – DWD) a zároveň díky dostatečně dlouhé časové řadě těchto měření. U každého města jsem použil data ze stanice ležící v centru města. Pro porovnávání jsem poté ke každé městské stanici vybral nejbližší stanici, která se nachází mimo městský tepelný ostrov. Aby hodnoty příměstských stanic byly co nejméně znehodnoceny vlivem města, vybral jsem stanice na západ od města. U Prahy to byla celkem jednoduchá volba a jako příměstskou stanici jsem použil Ruzyni. U Berlína odpovídá nejvíce poloze Ruzyně poloha stanice v Postupimi. Jako druhou stanici jsem použil Neuruppin, asi 70 km vzdálené městečko směrem na SZ od Berlína (viz Příloha 1).

Hlavní otázka této práce je, zda se zvyšuje intenzita městských tepelných ostrovů, tj. jestli teplota v urbanizovaných oblastech roste rychleji, než v jim blízkých příměstských oblastech. V diskuzi jsou probírány důvody, proč tomu tak je, či není.

## 1.2 Fyzicko-geografická charakteristika

Podle aktualizované Köppen-Geigerovy klasifikace klimatu leží Berlín i Praha v oblasti Cfb (Kottek et al., 2006) – mírné, vlhké podnebí s teplým létem.

### 1.2.1 Berlín

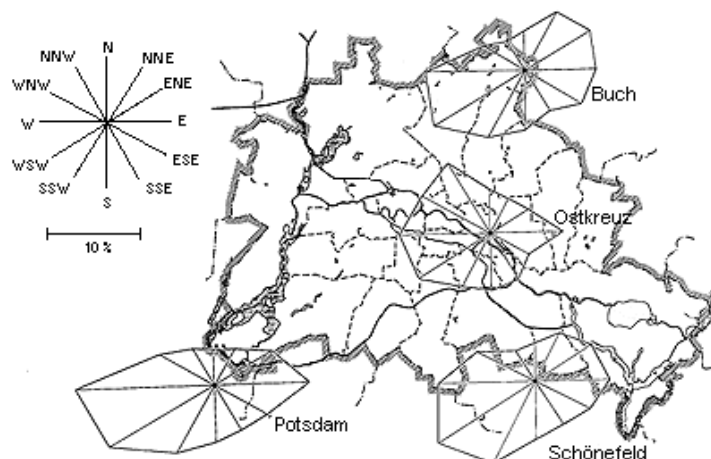
Berlín se nachází ve východní části Německa, asi 70 km na západ od hranic s Polskem, v rovinaté jezerní krajině Severoněmecké nížiny. Město se rozkládá ve starém říčním údolí, kudy odtékala voda při ústupu ledovce v poslední době ledové. Podloží je tvořeno převážně písčítými glaciálními sedimenty. Dnes tímto údolím protéká řeka Spréva, která se na západním okraji Berlína vlévá do řeky Havel. Ta protéká řadou jezer, jako jsou jezero Tegeler nebo Wannské jezero. Město leží uprostřed rozsáhlého pásu lesů tvořených borovicemi a břízami (Britannica, 2009).

Kromě údolí řeky Sprévy se Berlín rozpíná do okolních, málo vyvýšených plošin. Severní část města se rozprostírá na Branimské plošině a jižní část na Tetlowské plošině. Nejvyššími body Berlína jsou Teufelsberg a Müggelberge. Oba kopce mají nadmořskou výšku přibližně 115 m (Wikipedia, 2009)

Průměrná teplota za celé sledované období (1961–2008) činí v Berlíně 9,7 °C, Postupimi 9,0 °C a Neuruppinu 8,9 °C (tj. u Berlína a Postupimi o 0,3 °C a u Neuruppinu o 0,4 °C více, než za normálové období 1961–1990, viz Obr. 2, 3, 4).

Podle měření biologického institutu v Dahlemu (Strumpf a Buchhorn, 2006) nastane v Berlíně (Dahlemu) podle třicetiletého průměru (1971–2000) během jednoho roku 67 mrazových ( $T_{\min} < 0\text{ °C}$ ), 21 ledových ( $T_{\max} < 0\text{ °C}$ ), 35 letních ( $T_{\max} > 25\text{ °C}$ ) a 7 tropických dní ( $T_{\max} > 30\text{ °C}$ ). Tyto údaje jsou ve studii porovnány s hodnotami z roku 2006, kde u chladných extrémů jsou hodnoty podobné (77 mrazových a 21 ledových dní), ale je zde evidentní rapidní nárůst letních a tropických dnů (67 resp. 23). Na stanici Berlín-Dahlem byla podle údajů na stránkách Freie Universität Berlin (2000–2007) za období 1. 4. 1908–15. 10. 2007 naměřena nejnižší teplota 11. února 1929 o hodnotě -26,0 °C. Nejvyšší teplota 37,8 °C byla za stejné období změřena 11. července 1993.

V Berlíně převládají větry ze západního (21 %) resp. jihozápadního (16 %) směru (stadtenwicklung.berlin, 2009). Průměrná rychlost větru činí 2,8 m/s (větrné podmínky Berlína viz Obr. 1)

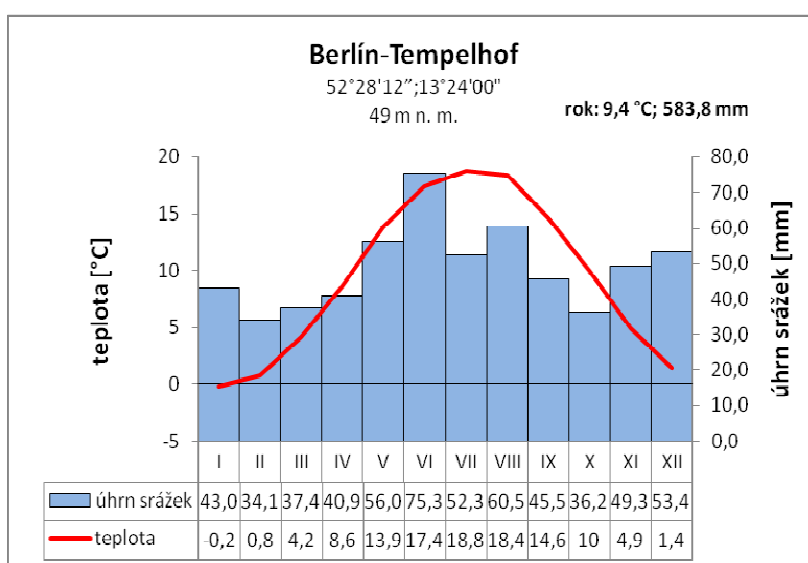


**Obr. 1:** Větrné podmínky v Berlíně (zdroj: stadtentwicklung.berlin, 2009)

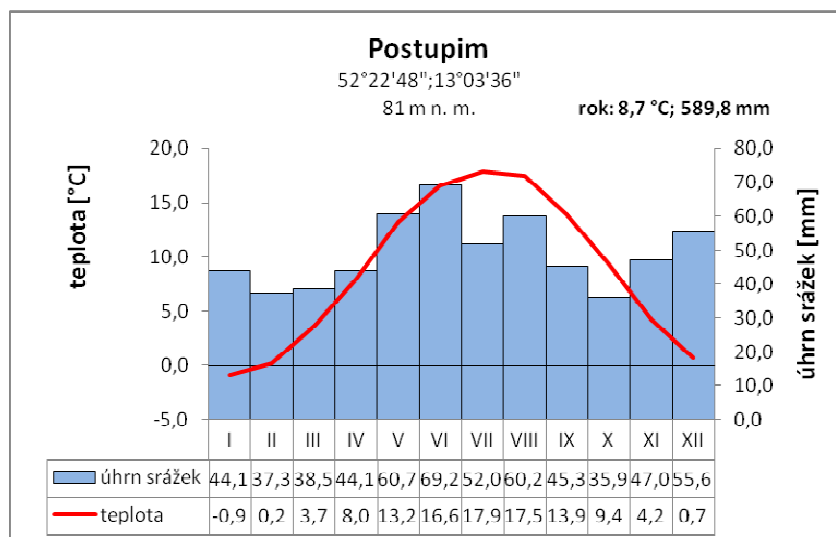
Podle ročenky německého DWD (2007) je podnebí Braniborska „relativně suché a kontinentální s velkými odchylkami mezi jednotlivými ročními obdobími. Berlínské podnebí je o něco teplejší díky městskému tepelnému ostrovu“ (DWD, 2007).

Roční úhrn srážek dosahuje v Berlíně průměrně 583,8 mm (1961–1990 viz Obr. 2), v Postupimi je to o něco více – 590 mm (Obr. 3). V Neuruppinu je úhrn srážek nižší, pouze 510,9 mm za rok (Obr. 4). Nejdeštivější jsou letní měsíce, konkrétně na všech stanicích červenec. Druhotné maximum po létě nastává na německých stanicích v zimě. Nejméně deštivými měsíci jsou únor a říjen.

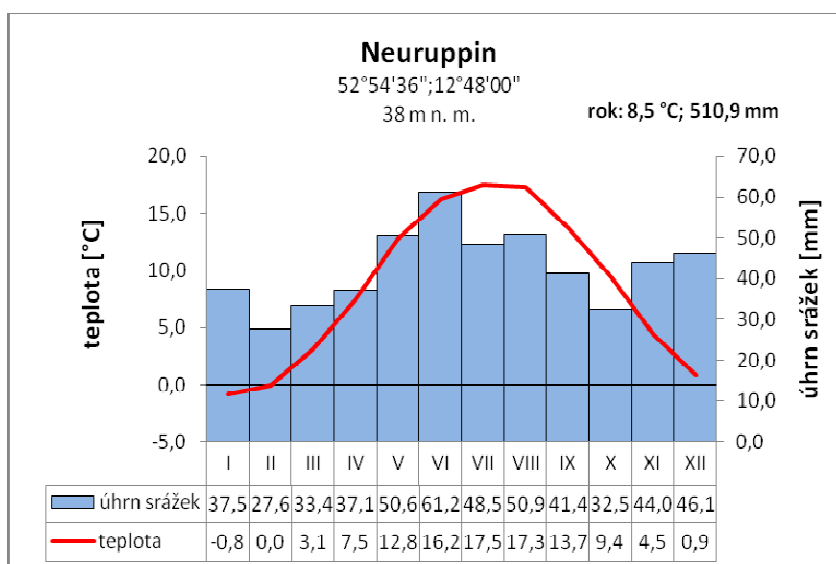
Stanice Berlín-Tempelhof měří od roku 1948. Stanice Postupim měří již od roku 1893 a Neuruppin od roku 1961.



**Obr. 2:** Klimadiagram – Berlín-Tempelhof, 1961–1990 (zdroj: DWD)



**Obr. 3:** Klimadiagram – Postupim, 1961–1990 (zdroj: DWD)



**Obr. 4:** Klimadiagram – Neuruppin, 1961–1990 (zdroj: DWD)

## 1.2.2 Praha

Praha leží v centrální poloze Čech na Vltavě asi 40 km od jejího soutoku s Labem. Velká část města leží v širokém údolí řeky Vltavy, která se v centru města stáčí do velkého meandru. Okraje Prahy vystupují z vltavského údolí a rozprostírají se na rozsáhlé Pražské plošině. Vltava vtéká do Prahy ve výšce 190 metrů nad mořem a opouští ji na severu ve výšce 176 m n. m. Pražská plošina dosahuje na západním a jižním okraji města téměř 400 m n. m. (Bílá hora 381 m) (Wikipedia, 2009).

Průměrná teplota za sledované období činí na stanici Karlov 9,7 °C (oproti 9,4 °C za období 1961–1990) a na stanici Ruzyně 8,2 °C (7,9 °C). Červený et al. (1984) uvádí,

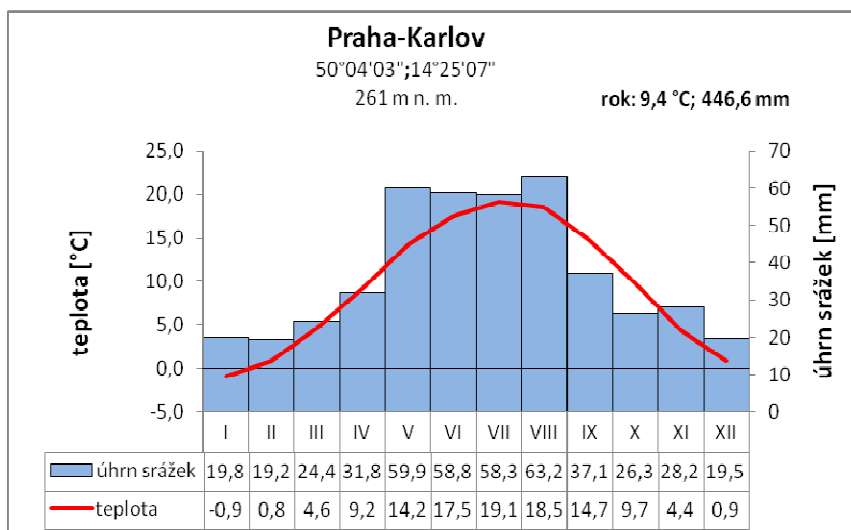


že mrazových dní je v Praze (v Klementinu od 1794) průměrně 88, ledových dní 26, letních dní 46 a tropických 9. Nejteplejším měsícem je červenec (Karlovy 19,1 °C resp. Ruzyně 17,5 °C) a nejchladnějším leden (-0,9 °C resp. -2,4 °C). V centru Prahy je průměrná teplota podle Němce (1997 in Stieblingová, 2004) při stejné nadmořské výšce o 1 °C vyšší než ve volné krajině. Nejvyšší naměřená teplota na území Prahy byla 27. 7. 1983 v Uhřetěvsi (40,2 °C) a nejchladnějším dnem byl 10. únor 1956 na Ruzyni s teplotou 31,1 °C pod bodem mrazu.

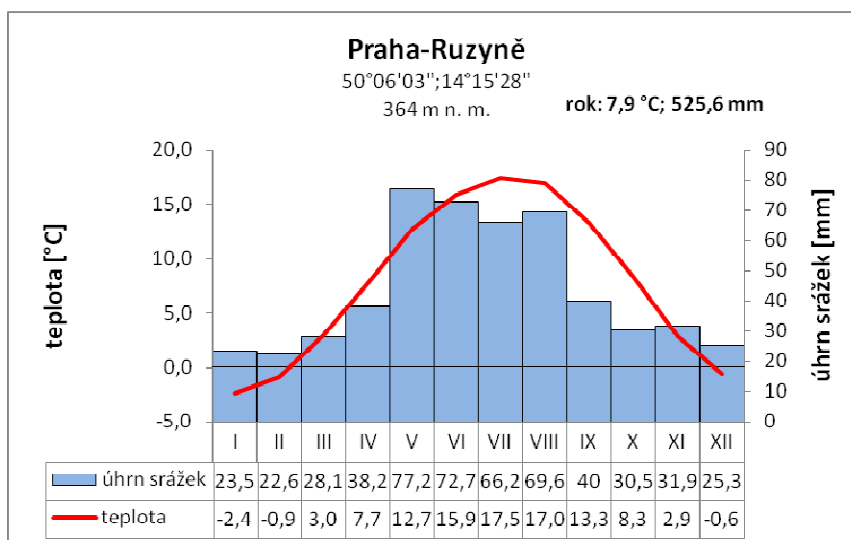
V Praze převládá západní a jihozápadní proudění. Nejméně fouká ze severovýchodu. Bezvětří je na Ruzyni v 11,3 %, na Karlově v 25,3 % případů. Podstatně větší procento bezvětří na Karlově dokazuje, že velká část Prahy leží v mělké kotlině, kde vzduch často stagnuje. I průměrná rychlost větru je v nejnižších částech Prahy značně nižší než v okrajových částech města a to dokonce ještě 40 m nad terénem vnitřního města. Poloha centra Prahy v kotlině je velmi nepříznivá při rozptylu škodlivin nad městem (Červený et al., 1984). To je podstatný rozdíl oproti plochému, lépe provzdušněnému Berlínu, kde je oproti jiným městům výrazně nižší koncentrace aerosolů a skleníkových plynů (Kottmeier, Biegert a Corsmeier, 2007)

Relativní vlhkost vzduchu ve vnitřní Praze je oproti ostatním regionům Česka nižší. Je podle Červeného et al. (1984) způsobena rychlým odtokem vody kanalizací, málo propustným, či zcela nepropustným povrchem, který je s výjimkou parků a sadů zastavěn, malou vertikální výměnou vzduchu a vysokým obsahem kouře a prachu, který absorbuje část vodní páry na kondenzačních jádrech. Průměrná relativní vlhkost je podle Červeného et al. (1984) na Karlově 70 % na Ruzyni 76 %.

Srážkově jsou pražské stanice o něco sušší, než německé, díky větší kontinentalitě klimatu. Hlavně v zimních měsících jsou srážky v Praze výrazně nižší (např. v prosinci 53,4 mm v Berlíně oproti 19,5 mm v Praze na Karlově) a nekoná se zde zimní druhotné maximum. Naopak zimní měsíce jsou v Praze nejsušší. Karlov dosahuje průměrného ročního úhrnu srážek (1961 – 1990 viz Obr. 5) 446,6 mm. Ruzyně je oproti tomu výrazně deštivější s 525,8 mm (Obr. 6). Nejdeštivější jsou opět letní měsíce, s celkem vyrovnanými srážkami od května do srpna. Na Karlově je maximální úhrn srážek v srpnu (63,2 mm), Ruzyně dosahuje maxima už v květnu (77,2 mm).



**Obr. 5:** Klimadiagram – Praha, Karlov, 1961–1990 (zdroj: ČHMÚ)



**Obr. 6:** Klimadiagram – Praha, Ruzyně, 1961–1990 (zdroj: ČHMÚ)

Červený et al. (1984) tvrdí, že městský tepelný ostrov díky tepelnému výdeji a exhalacím plyných, kapalných a pevných látek, může ovlivnit srážkový režim v daném městě. Zvýšení množství kapalných a pevných látek v ovzduší způsobí o 5–10 % vyšší úhrny srážek a větší pravděpodobnost výskytu příválových dešťů a bouřek. To nejspíš vysvětluje srážkové maximum na Karlově až v srpnu.

Na stanici Karlov v budově Fyzikálního ústavu MFF UK se měří od roku 1920 kromě teploty mnoho dalších meteorologických prvků. Na synoptické letecké základní pozorovatelně Ruzyně se sleduje vývoj počasí od roku 1937 (Stieblingová, 2004).

## 2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY MĚSTSKÉHO TEPELNÉHO OSTROVA

### 2.1 Definice města

Před samotnou definicí městského tepelného ostrova je důležité vymezit si pojem město. Město a jeho hranice můžeme vymezit dvěma způsoby:

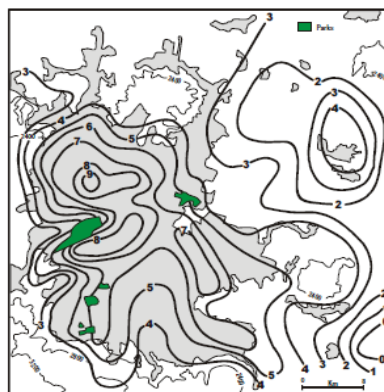
- a) Město jako těsně zastavěné území se zpevněným povrchem (silnice, chodníky), které zahrnuje izolované stromy, městské parky a ne příliš rozsáhlé nezastavěné plochy. Tomuto popisu odpovídají 2–3 % zemského povrchu (bez plochy ledovců) (Mills, 2007).
- b) Město jako propojený systém města a území, odkud lidé dojíždějí do města za prací či do školy. Takoví lidé sice většinou žijí za hranicemi města, ale jsou jeho nedílnou (zejména ekonomickou) součástí (Mills, 2007).

### 2.2 Městský tepelný ostrov

Efekt městského tepelného ostrova je způsobován přeměnou zemského povrchu z přírodního na pevný (městský). To výrazně ovlivňuje energetickou a vodní bilanci prostředí. Dešťová voda odtéká po nepropustných materiálech a méně se jí vypaří nebo vsákne v místě spadu. To způsobuje nadměrné zahřívání městského povrchu. Důsledkem rychlého odtoku vody z povrchu je větší rozkolísanost průtoků řek, které jsou více závislé na jednotlivých dešťových událostech. Neprodyšný povrch zvyšuje také význam změn teploty vůči energetické bilanci mezi povrchem a atmosférou (Mills, 2007).

Teplo od zahřátého městského povrchu přijímá část městské atmosféry sahající do výšky střech budov, která se nazývá **městský baldachýn** (urban canopy layer – UCL). UCL se skládá z mnoha dílčích mikroklimat jednotlivých ulic města. Ta se liší podle orientace jednotlivých ulic, výšky budov a použitých materiálů v dané ulici (Mills, 2007).

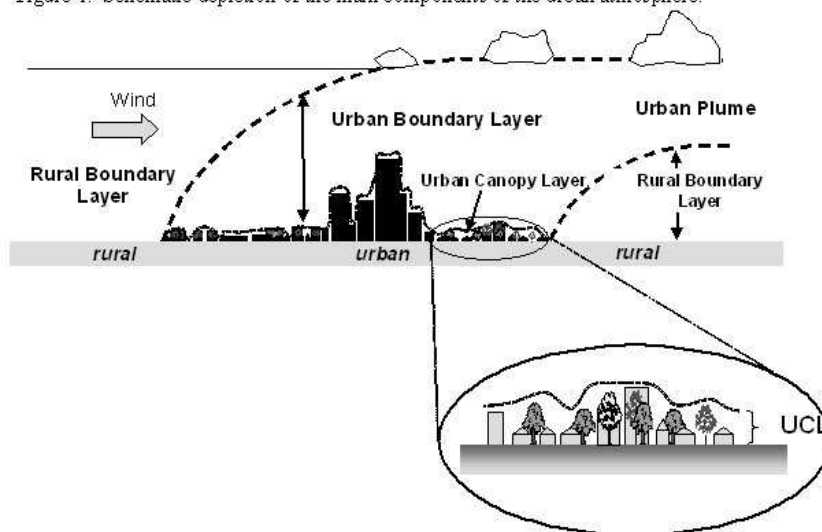
Charakter povrchu má silný vliv na tepelné vlastnosti UCL. Teploty jsou vyšší v hustěji zastavěných oblastech a nižší v blízkostech parků nebo více otevřených oblastech (Obr. 7). Teplota městského povrchu úzce souvisí s jeho vlastnostmi; během dne se suché, tmavé plochy, které silně absorbují sluneční záření, silně zahřívají, zatímco světlejší nebo vlhké plochy jsou mnohem chladnější. Zastíněné povrchy se také méně zahřívají (Voogt, 2004).



**Obr. 7:** Průměrná min. teplota v listopadu 1981 v Mexico City (zdroj: Mills, 2004)

Nad střechami domů se nachází **mezní vrstva** (urban boundary layer – UBL), která může dosahovat mocnosti přes 1 km přes den a stovek metrů v noci. UBL je tvořena masou teplého městského vzduchu, který se šíří dále po větru za hranice města (Obr. 8). V UBL vykazuje tepelný ostrov mnohem menší variabilitu než v ostatních částech (Voogt, 2004).

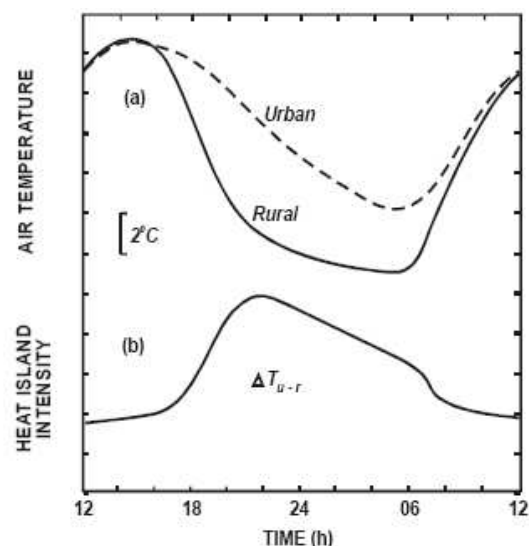
Figure 1. Schematic depiction of the main components of the urban atmosphere.



**Obr. 8:** Schematický náčrt stavby městské atmosféry (zdroj: Voogt, 2004)

Zvýšený tepelný tok nad městem vytváří **městský tepelný ostrov** (urban heat island – UHI). UHI způsobuje pomalejší ochlazování vzduchu po západu slunce díky větší termální setrvačnosti než mimo město (Obr. 9). Rozdílná teplota nad městským a přírodním povrchem způsobuje místní větry, díky nasávání studenějšího vzduchu z okolí města nebo parku. Důsledky tepelného ostrova ve městě jsou i tání sněhu a méně mrazových dní v zimě a naopak více tropických dní v létě (Mills, 2007).

Vyšší denní teplota v mezní vrstvě může zvýšit tvorbu městského smogu, protože rostou emise znečišťujících látek a atmosférické fotochemické reakce. Tepelný ostrov může mít také přímý vliv na lidské zdraví, protože umocňuje sílu tzv. **horkých vln** – období pěti a více dnů s teplotou alespoň 5 °C nad dlouhodobým průměrem za období 1961–1990 (Frich, 2002; např. v roce 2003 – viz Obr. 10), při kterých je větší riziko úmrtí z přehřátí, zejména u starších obyvatel města, a také vytváří podmínky vhodné pro šíření nemocí (Voogt, 2004).



**Obr. 9:** Vývoj intenzity městského tepelného ostrova během dne (zdroj: Mills, 2004)

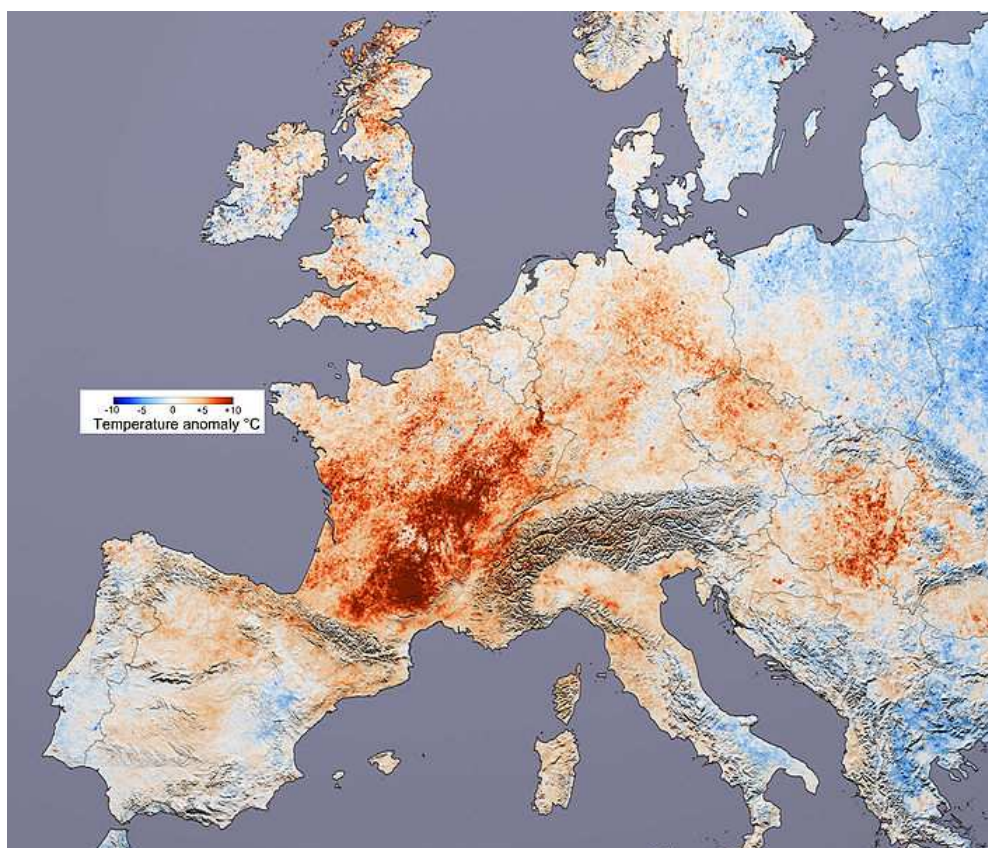
**Intenzita tepelného ostrova** je dána rozdílem teplot vzduchu nad centrem města a nad přirozeným povrchem (Mills, 2007). V noci intenzita v UCL dosahuje rozmezí 1 až 3 °C, ale za příhodných podmínek může dosahovat až 12 °C. V UBL je udržována více konstantní intenzita ve dne i v noci (~ 1,5 až 2 °C). Při povrchu města je obvykle intenzita nejvýraznější během dne, kdy silné solární záření může způsobit větší rozdíly mezi suchými a vlhkými povrchy, zastíněnými povrchy nebo povrchy porostlými vegetací (Voogt, 2004).

Faktory ovlivňující výskyt a intenzitu tepelného ostrova podle Voogta (2004):

- *počasí* – mocnost tepelného ostrova je největší za jasného a bezvětrného počasí. Zvýšená větrnost více míchá vzduch a snižuje efekt tepelného ostrova. Zvýšená oblačnost snižuje radiační ochlazování v noci a také snižuje sílu tepelného ostrova. Sezónní výkyvy v počasí mají vliv na výskyt a rozsah tepelného ostrova,
- *geografická poloha* – ovlivňuje klima a topografii oblasti, jakož i vlastnosti okolí města. Regionální nebo místní povětrnostní vlivy, jako jsou například místní větrné systémy, mohou mít dopad na tepelný ostrov. Například v přímořských městech může dojít k ochlazování jejich vzduchu v létě, kdy je vzduch nad mořem chladnější než nad pevninou a je nasáván do města. U měst ve vlhkém teplém klimatu, která jsou obklopena vlhkými přírodními povrchy, může pomalejší ochlazování těchto ploch snižovat sílu městského tepelného ostrova,
- *roční a denní období* – v zimním období má největší podíl na intenzitě tepelného ostrova antropogenní teplo (doprava, průmysl, vytápění budov), kdežto v letním období se

výrazněji prosazuje akumulace tepla ze slunečního záření. Podle Beranové a Hutha (2003) je ročním obdobím s nejvyšší průměrnou intenzitou léto - před jarem, podzimem a zimou (více viz další text). Vývoj intenzity během dne znázorňuje Obr. 9. Největší intenzita nastává po západu slunce, kdy se městský povrch ochlazuje mnohem pomaleji než přírodní a prohřívá i spodní části městské atmosféry. Nejmenší intenzita nastává kolem poledne.

- *vzhled města* – materiály, z jakých jsou stavěny budovy, povrchové vlastnosti města, rozměry a hustota staveb a množství městské zeleně,
- *funkce města* – produkce znečišťujících látek do ovzduší, teplo z využívání energie a využívání vody zavlažováním. Antropogenní teplo vznikající především spalováním fosilních paliv je důležitým faktorem vzniku a podoby tepelného ostrova. Antropogenní produkce tepla má obvykle největší vliv během zimní sezony v centru města. V některých městech může mít významný podíl na antropogenním teple v létě velká spotřeba energie na ochlazování budov klimatizacemi.



**Obr. 10:** Horká vlna v Evropě v roce 2003 (zdroj: wikipedia.org)

## 3 METODY ZPRACOVÁNÍ

### 3.1 Zdroje dat

Teplotní řady z českých stanic pochází od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Průměrné měsíční hodnoty od roku 1998 jsou volně přístupné na stránkách ČHMÚ. Data z německých stanic byla volně přístupná na stránkách německého meteorologického ústavu Deutscher Wetterdienst (DWD).

Data o hodnotách indexu severoatlantské oscilace jsou k dispozici na stránkách pana Jima Hurrela (<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>).

### 3.2 Homogenita dat

U teplotních řad byl s kladným výsledkem proveden test homogenity dat pomocí metody podvojně součtové čáry (podle Stieblingové, 2004). Data z Karlova s Ruzyní stejně tak data z německých stanic vyšla jako relativně homogenní a tedy použitelná pro práci. Výsledné grafy testů homogenity dat jsou k dispozici jako Příloha 4.

### 3.3 Metody a výpočty

Teplotní řady českých stanic poskytovaly údaje teplot měřené v 7, 14 a 21 hodin. Průměrnou denní teplotu ( $T_{prum}$ ) bylo třeba vypočítat známým vzorcem  $T_{prum} = (T_7 + T_{14} + 2 * T_{21}) / 4$ . Data z německých stanic obsahovala i průměrné denní teploty. Ty jsou ovšem vypočítané z měření v 7:30, 14:30 a 21:30 hodin. Od dubna roku 2001 je denní průměr německých teplot počítán z hodnot za každou celou hodinu ([dwd.de](http://dwd.de)). Pro účely práce ovšem postačovaly průměrné hodnoty za jednotlivá roční období v každém roce, které byly vypočítány z denních průměrů respektive z nich vypočítaných měsíčních průměrů. Ty bylo nutné spočítat u dat do roku 1990 (německé stanice) resp. 1997 (české stanice). Z novějších let byly měsíční průměry k dispozici na stránkách DWD resp. ČHMÚ.

Jak bylo uvedeno, data byla k dispozici z let 1961–2008. Ovšem u všech grafů znázorňujících výsledky ze zimy resp. chladného půlroku (říjen–březen) je letopočtová řada o rok kratší z důvodu náležitosti zimy do dvou roků. Letopočet zimy je určen rokem měsíce ledna v daném období. Takže například zima roku 1962 odpovídá ve skutečnosti období prosinec 1961–únor 1962 a všechny grafy za období 1962–2008 tedy odpovídají období prosinec 1961–listopad 2008.

U teplotních údajů byla provedena lineární regresní analýza za účelem porovnání

rychlosti oteplování jednotlivých stanic.

Regresní analýza „popisuje závislost dvou číselných proměnných, z nichž jedna je příčina (vysvětlující proměnná) a jedna je důsledek (vysvětlovaná proměnná)“ (Popelka, 2008). Regresní lineární přímka má obecný tvar  $y = a \cdot x + b$ , kde hodnota  $a$  je směrnici přímky a udává její sklon (o kolik se změní hodnota  $y$  za jednotku  $x$ ) a hodnota  $b$  je průsečík regresní přímky s osou  $y$ . Vhodnost a spolehlivost použité metody určuje koeficient determinace  $R^2$  (v programu MS Excel hodnota spolehlivosti  $R$ ). Ten vystihuje, jak těsně data přiléhají k přímce a určuje „jaké procento měnlivosti pozorovaných hodnot je vysvětleno odhadnutým modelem“ (Popelka, 2008). Hodnota koeficientu nabývá hodnot od 0 do 1. Čím více se blíží k jedné, tím je model vhodnější (Popelka, 2008).

Pro analýzu intenzity městských tepelných ostrovů byly teplotní údaje z jednotlivých stanic přepočteny vždy na úroveň nadmořské výšky stanice v centru města – u německých stanic na úroveň stanice Tempelhof v Berlíně, u pražských stanic na úroveň nadmořské výšky Karlova. „V troposféře je běžně pozorovaný pokles teploty vzduchu s výškou o hodnotu  $0,65^\circ\text{C}$  na 100 m výšky“ (Honsová, 2006). Proto jsem pro redukci teplot použil vzorec  $t_0 = (t \pm 0,65h)$ , kde  $h$  je nadmořská výška v hektametrech ( $\text{m} \cdot 10^{-2}$ ).

U každého městského tepelného ostrova bylo provedeno více výpočtů intenzity. Pro směrodatnější výsledek je dobré od teploty vzduchu stanice v centru města odečítat průměr teplot více příměstských stanic. Z toho důvodu byla u Prahy kromě Ruzyně použita data z dalších dvou stanic, které leží poblíž Prahy a jejichž hodnoty jsou k dispozici na stránkách ČHMÚ. Těmi jsou Doksany a Semčice (Tab. 1). U těchto stanic byl ale přístup pouze k datům od roku 1998 (Grafy 7a,b a 8a,b). Pro Berlín byla jako třetí příměstská stanice (pro stejné období) použita stanice v Lindenbergu, ležícím jihovýchodně od Berlína (Grafy 7c a 8c).

Pro dlouhodobější regresní analýzu vývoje intenzity bylo použito méně datových řad z důvodu nedostupnosti dlouhodobějších dat ze stanic v Doksanech a Semčicích. Proto za období 1961–2008 je intenzita v Praze počítána jen jako rozdíl Kralova a Ruzyně a v Berlíně je počítána bez Lindenbergu (Tab. 2).

Na závěr byla v MS Excel provedena korelace (*CORREL*) jednotlivých teplotních řad s řadou zimního indexu severoatlantské oscilace za účelem zjištění, v jaké míře je teplota vzduchu na jednotlivých stanicích ovlivněna severoatlantskou oscilací (viz níže). Korelační koeficient určuje sílu závislosti dvou číselných proměnných. Nabývá hodnot  $<-1;1>$ . Čím více je koeficient vzdálen od nuly, tím více jsou proměnné závislé. Pokud je hodnota koeficientu kladná, jedná se o pozitivní závislost, pokud je záporná, jedná se o negativní závislost (Popelka, 2008).



**Tab. 1:** *Poloha všech použitých stanic (zdroj: DWD a ČHMÚ)*

STANICE	m n. m.	s. š.	v. d.
Berlin-Tempelhof	49	52°28'12"	13°24'00"
Postupim	81	52°22'48"	13°03'36"
Lindenberg	112	52°12'00"	14°07'00"
Neuruppin	38	52°54'36"	12°48'00"
STANICE	m n. m.	s. š.	v. d.
Praha-Karlov	261	50°04'03"	14°25'07"
Praha-Ruzyně	364	50°06'03"	14°15'28"
Doksany	158	50°27'31"	14°10'14"
Semčice	234	50°22'02"	15°00'16"

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Teplota vzduchu

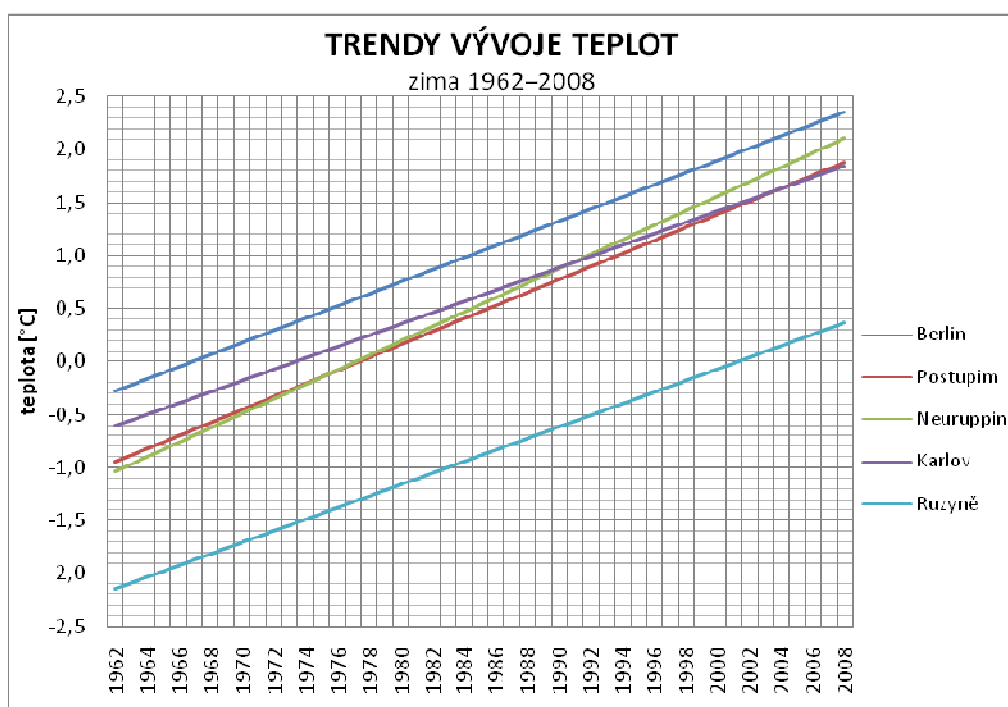
Dlouhodobě nejteplejší z pozorovaných stanic jsou městské stanice na Karlově a Tempelhofu. Naopak nejchladnější je stanice v Ruzyni. Je to dáno nejvyšší nadmořskou výškou a zároveň velkou větrností daného místa (viz Tab. 2). Nejteplejším měsícem je v třicetiletém průměru na všech stanicích červenec, nejchladnějším leden.

**Tab. 2:** Poloha měřicích stanic, dlouhodobé teplotní průměry 1961–1990 a průměrná rychlost větru za toto období (zdroj: DWD a ČHMÚ)

STANICE	m n.m.	s.z.š.	v.z.d.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok	vítr m/s
Berlin-Tempelhof	49	52°28'12"	13°24'00"	-0,2	0,8	4,2	8,6	13,9	17,4	18,8	18,4	14,6	10,0	4,9	1,4	9,4	2,8
Postupim	81	52°22'48"	13°03'36"	-0,9	0,2	3,7	8,0	13,2	16,6	17,9	17,5	13,9	9,4	4,2	0,7	8,7	2,5
Neuruppin	38	52°54'36"	12°48'00"	-0,8	0,0	3,1	7,5	12,8	16,2	17,5	17,3	13,7	9,4	4,5	0,9	8,5	2,3
Praha-Karlov	261	50°04'03"	14°25'07"	-0,9	0,8	4,6	9,2	14,2	17,5	19,1	18,5	14,7	9,7	4,4	0,9	9,4	2,6
Praha-Ruzyně	364	50°06'03"	14°15'28"	-2,4	-0,9	3,0	7,7	12,7	15,9	17,5	17,0	13,3	8,3	2,9	-0,6	7,9	4,4

#### 4.1.1 Trendy vývoje teploty vzduchu za jednotlivá roční období

Následující grafy znázorňují lineární trendy vývoje průměrných teplot na jednotlivých stanicích za jednotlivá roční období v letech 1961–2008. Hodnoty koeficientu determinace nenabývají příliš vysokých hodnot z důvodu velké kolísavosti teplot.

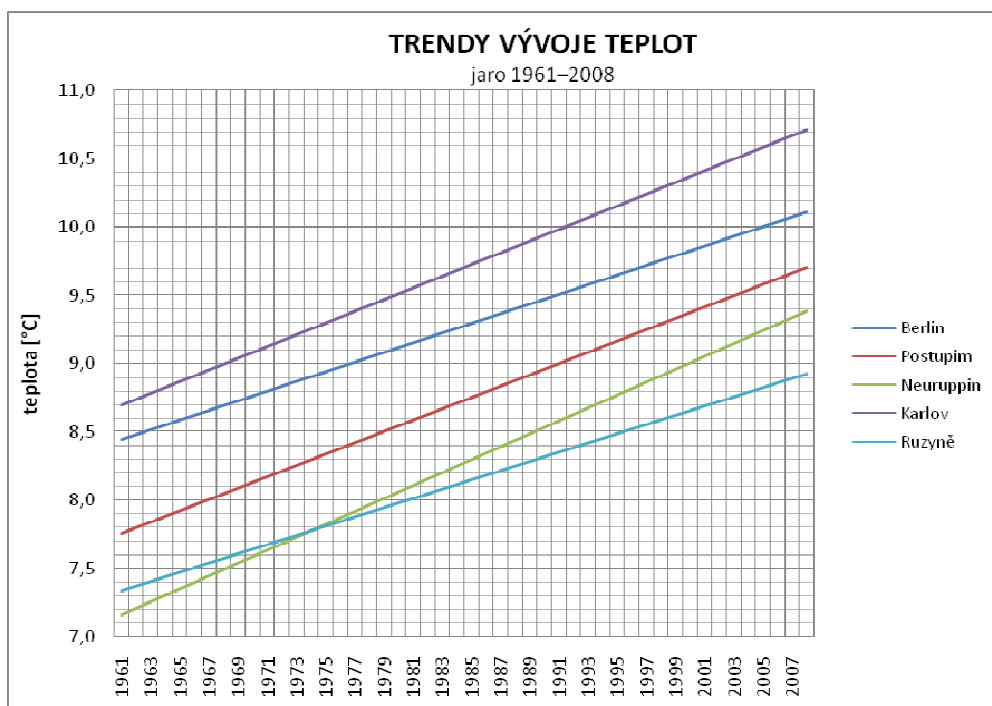


**Graf 1:** Lineární trendy zimních teplot 1962–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 3:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 1 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61 – 90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0572x - 0,3404$	$R^2 = 0,1235$	0,7
Postupim	$y = 0,0614x - 1,0091$	$R^2 = 0,1406$	0,0
Neuruppin	$y = 0,0682x - 1,105$	$R^2 = 0,1622$	0,0
Praha-Karlov	$y = 0,0531x - 0,6567$	$R^2 = 0,1359$	0,3
Praha-Ruzyně	$y = 0,0544x - 2,1915$	$R^2 = 0,1318$	-1,3

Graf 1 a Tab. 3 znázorňují trendy vývoje teplot v zimě v letech 1962–2008. Dlouhodobě nejteplejší je v zimním období Berlín (0,7 °C) před Karlovem (0,3 °C). Naopak nejchladnější je v zimě Ruzyně (–1,3 °C). Všechny stanice vykazují v zimě během posledních 40 let oteplení a to největší ze všech ročních období. U německých stanic vykazuje největší oteplení stanice Neuruppin – v průměru 0,0682 °C za rok –, což je o 0,011 °C více než hodnota stanice Tempelhof (0,0572 °C/rok). Stanice Postupim nevykazuje takové oteplení jako Neuruppin, ale hodnota je také vyšší než Berlín (0,0614 °C/rok). V Praze se rozdíl mezi Ruzyní a Karlovem prakticky nemění. Rozdíl mezi stanicemi je pouhých 0,0013 °C/rok ve prospěch Ruzyně.

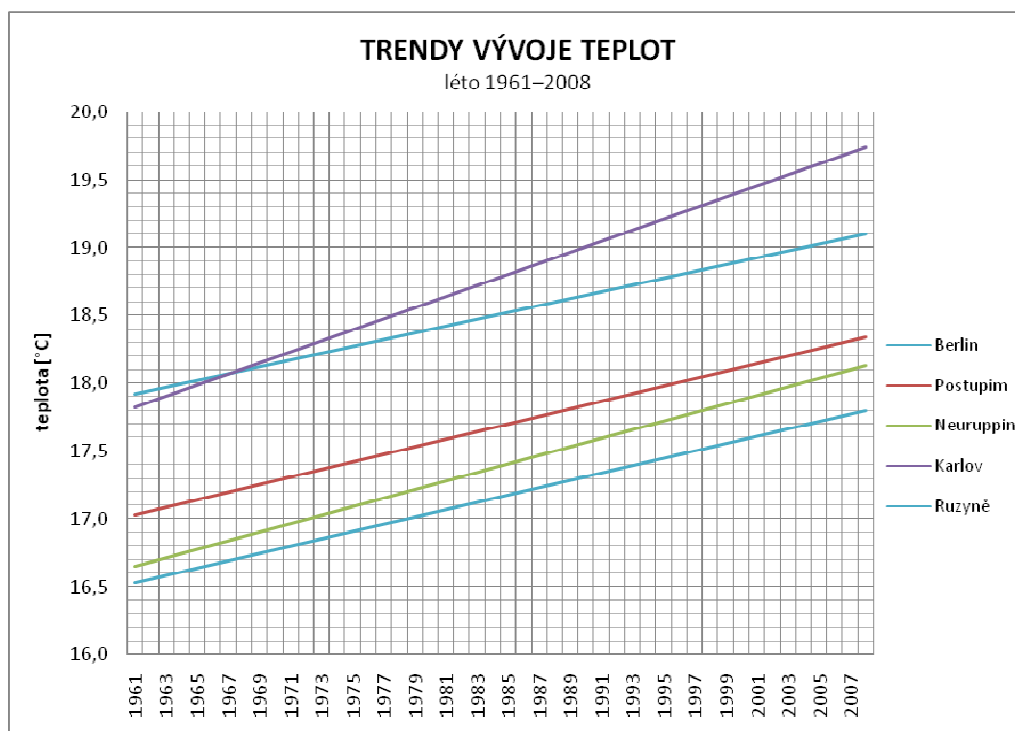


**Graf 2:** Lineární trendy jarních teplot 1961–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 4:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 2 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61 – 90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0354x + 8,411$	$R^2 = 0,1982$	8,9
Postupim	$y = 0,0413x + 7,7188$	$R^2 = 0,263$	8,3
Neuruppin	$y = 0,0472x + 7,1161$	$R^2 = 0,3007$	7,8
Praha-Karlov	$y = 0,0428x + 8,6572$	$R^2 = 0,1359$	9,3
Praha-Ruzyně	$y = 0,0337x + 7,3075$	$R^2 = 0,1743$	7,8

Na jaře (Graf 2, Tab. 4) je z dlouhodobého hlediska Karlov teplejší než Tempelhof (9,3 vs. 8,9 °C). Nejchladnější jsou Ruzyně a Neuruppin (shodně 7,8 °C). Jarní hodnoty vykazují nižší průměrné oteplení za rok než zimní. U Německa je situace ohledně oteplování obdobná jako v zimě. Opět největší oteplení vykazuje Neuruppin (0,0472 °C/rok) a dohání Berlín o 0,0118 °C/rok. Postupim se v průměru otepluje o 0,0413 °C ročně a Berlín jen o 0,0354 °C. V Praze už jarní trendy odpovídají předpokladům, že stanice v centru by měla vykazovat větší oteplování než stanice na okraji města. Rozdíl mezi Karlovem (0,0428 °C/rok) a Ruzyní (0,0337 °C/rok) se ročně zvyšuje o 0,0091 °C.

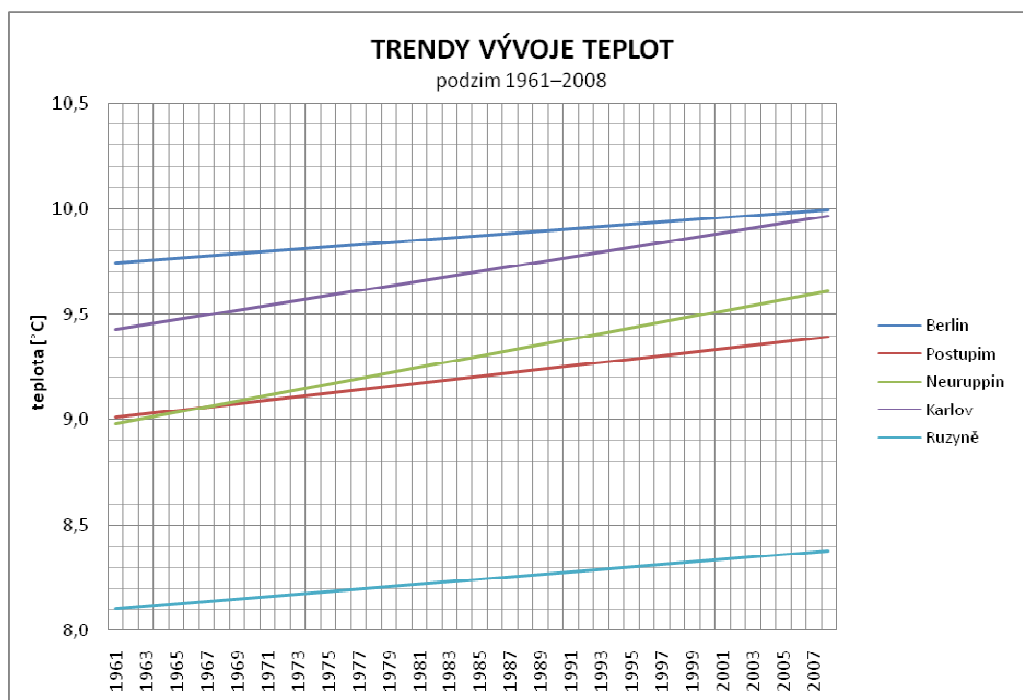


**Graf 3:** Lineární trendy letních teplot 1961–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 5:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 3 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61 – 90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0251x + 17,895$	$R^2 = 0,1058$	18,2
Postupim	$y = 0,0279x + 17,002$	$R^2 = 0,1314$	17,3
Neuruppin	$y = 0,0314x + 16,621$	$R^2 = 0,1684$	17,0
Praha-Karlov	$y = 0,0409x + 17,783$	$R^2 = 0,2911$	18,4
Praha-Ruzyně	$y = 0,0271x + 16,501$	$R^2 = 0,1366$	16,8

V létě (Graf 3, Tab. 5) je nejchladnější stanicí opět Ruzyně (16,8 °C). Na Karlově, který je naopak nejteplejší, je téměř o dva Celsiovy stupně tepleji (18,4 °C). V Německu je v dlouhodobém průměru nejchladnější Neuruppin (17 °C) a nejteplejší Tempelhof (18,2 °C). V Německu vykazuje největší oteplování opět Neuruppin (0,0314 °C/rok), což je o 0,0063 °C/rok více než v Berlíně (0,0251 °C/rok). Roční průměrný teplotní přírůstek Postupimi je 0,0279 °C. Karlov je dokonce v létě nejvíce se oteplovající stanicí (z pozorovaných) a oproti Ruzyni se otepluje v průměru o 0,0138 stupně za rok.

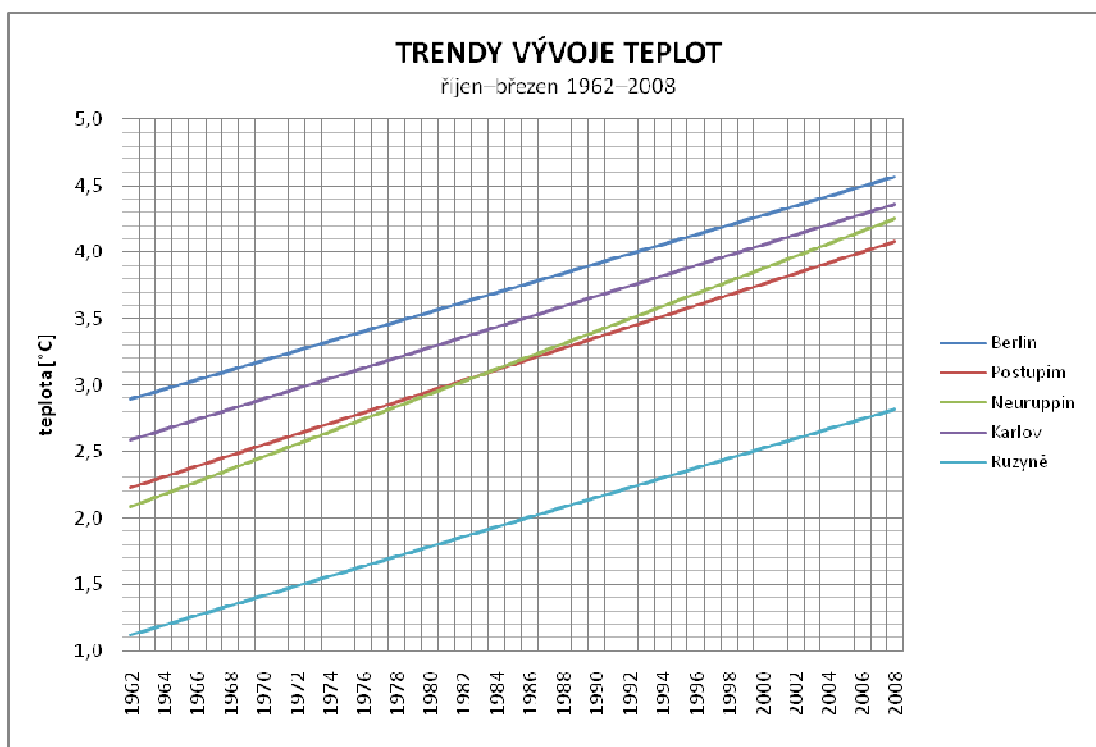


**Graf 4:** Lineární trendy podzimních teplot 1961–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 6:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 4 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61 – 90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0053x + 9,7419$	$R^2 = 0,0056$	9,8
Postupim	$y = 0,0081x + 9,0043$	$R^2 = 0,0137$	9,2
Neuruppin	$y = 0,0134x + 8,9678$	$R^2 = 0,0399$	9,2
Praha-Karlov	$y = 0,0115x + 9,416$	$R^2 = 0,0287$	9,6
Praha-Ruzyně	$y = 0,0059x + 8,099$	$R^2 = 0,0079$	8,2

Rozkolísanost průměrných podzimních teplot mezi jednotlivými stanicemi je ze všech ročních období nejmenší (Tab. 6). Nejteplejší je na podzim Berlín (9,8 °C). I na dalších stanicích přesahuje průměrná teplota devět stupňů celsia. Jedinou výjimkou je Ruzyně (8,2 °C), která se od ostatních stanic liší minimálně o jeden stupeň. I trendy narůstání teploty jsou na podzim nejpomalejší (Graf 4). Z německých stanic se nejvíce otepluje Neuruppin a to o 0,0134 °C/rok. To je o 0,0053 °C/rok respektive 0,0081 °C/rok více než stanice v Postupimi resp. Berlíně. V Praze se Karlov (0,0115 °C/rok) otepluje o 0,0056 Celsiusových stupňů za rok rychleji než Ruzyně (0,0059 °C/rok).

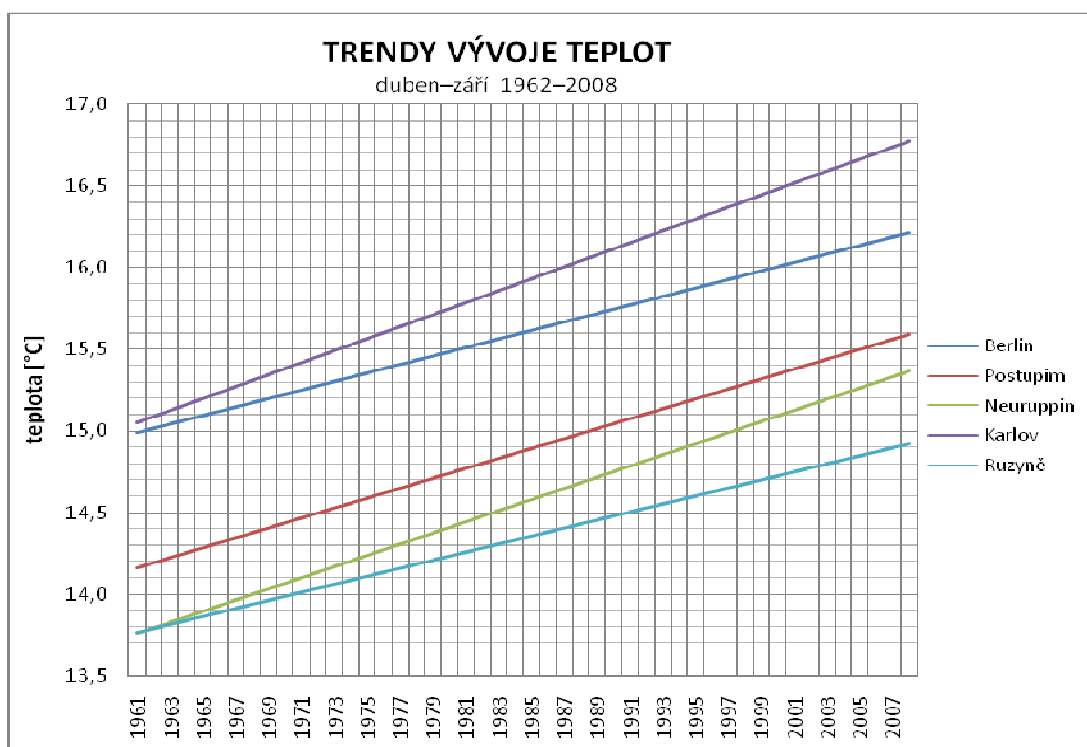


**Graf 5:** Lineární trendy teplot „chladného půlroku“ 1962–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 7:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 5 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61–90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0365x + 2,8544$	$R^2 = 0,1341$	3,5
Postupim	$y = 0,0402x + 2,1862$	$R^2 = 0,1615$	2,9
Neuruppin	$y = 0,0473x + 2,033$	$R^2 = 0,2027$	2,9
Praha-Karlov	$y = 0,0385x + 2,5511$	$R^2 = 0,1924$	3,3
Praha-Ruzyně	$y = 0,037x + 1,0821$	$R^2 = 0,1684$	1,7

Pokud se podíváme na delší časová období – teplý a chladný půlrok –, neukáže se nám nic nového. V chladném půlroce (říjen – březen) je nejteplejší Berlín (3,5 °C viz Tab. 7) před Karlovem (3,3 °C). Jednoznačně nejchladnější je Ruzyně (1,7 °C). Nejrychlejší trend (Graf 5) v oteplování opět vykazuje Neuruppin (0,0473 °C/rok), který se otepluje každý chladný půlrok v průměru o 0,0108 °C více než Berlín a o 0,0071 °C více než Postupim. Rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní se v chladném půlroce téměř nemění. Stanice Karlov vykazuje o 0,0015 °C/rok rychlejší oteplování.



**Graf 6:** Lineární trendy teplot „teplého půlroku“ 1962–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 8:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 6 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

Stanice	rovnice regrese	koeficient determinace	průměrná teplota 61–90 [°C]
Berlin-Tempelhof	$y = 0,0261x + 14,964$	$R^2 = 0,2026$	15,3
Postupim	$y = 0,0303x + 14,134$	$R^2 = 0,262$	14,5
Neuruppin	$y = 0,0342x + 13,727$	$R^2 = 0,3296$	14,2
Praha-Karlov	$y = 0,0367x + 15,012$	$R^2 = 0,3284$	15,5
Praha-Ruzyně	$y = 0,0246x + 13,739$	$R^2 = 0,1553$	14,0

V teplém půlroce (od dubna do září) nejsou rozdíly mezi teplotami tak veliké (Tab. 8). Nejteplejší je Karlov (15,5 °C) a Berlín (15,3 °C). Nejchladnější je tradičně Ruzyně (14,4 °C). I trend oteplování je u většiny stanic pomalejší (Graf 6) o více než 0,01 stupně za rok oproti chladnému půlroku. U stanice Karlov činí tento rozdíl ovšem jen 0,0018 °C/rok. V Německu se nejvíce otepluje Neuruppin v průměru o 0,0342 °C za rok. To je o 0,0081 °C ročně více než Berlín a o 0,0039 °C více než Postupim. Karlov v Praze se otepluje ještě více než Neuruppin, a sice o 0,0367 °C za rok. Ruzyně vykazuje trend o 0,0121 °C/rok pomalejší.

#### 4.1.2 Shrnutí výsledků

V Německu vykazují data přesně opačné výsledky oproti předpokladům. Nejpomaleji se otepluje stanice v Berlíně a nejrychleji stanice v Neuruppinu a to ve všech ročních obdobích. I Postupim se otepluje rychleji než stanice Tempelhof, ale zdaleka ne tak markantně jako Neuruppin. Nejvíce se teplotní rozdíl mezi Berlínem a Neuruppinem snižuje na jaře a v zimě (0,0118 resp. 0,011 °C/rok). Růst průměrné teploty je na všech stanicích největší v zimě (Graf 1) naopak nejmenší na podzim

V Praze, hlavně v létě a na jaře, odpovídají výsledky předpokladům, že centrum města se otepluje rychleji než okraj. V chladném půlroce zůstávají rozdíly teplot v podstatě stejné. Růst teplot je ovšem v zimě největší a to o přibližně 0,05 °C za rok na obou stanicích.

Rychlejší trend oteplování vykazují všechny stanice v chladném půlroce. V Německu jsou rozdíly mezi trendy Berlína a Postupimí v obou půlrocích přibližně stejné. Rozdíl mezi Berlínem a Neuruppinem je ale v zimě celkem výrazně větší než v létě (0,0108 °C ročně v chladném půlroce oproti 0,0081 stupňů v teplém). Oproti tomu rozdíl mezi trendem růstu Karlova a Ruzyně je výrazně větší v teplém půlroce (0,0015 vs. 0,0121 °C/rok).

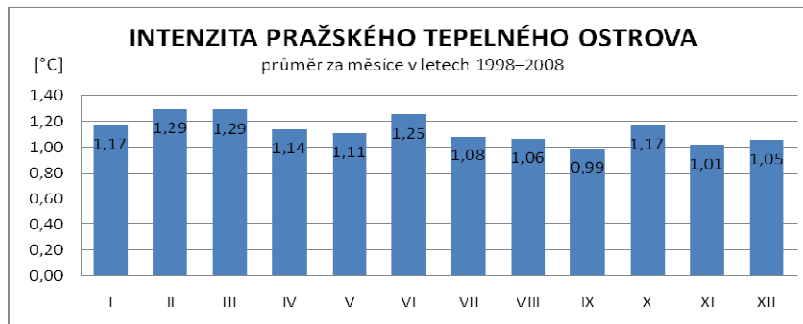
Souhrnná tabulka teplot za jednotlivé měsíce je v Příloze 2.



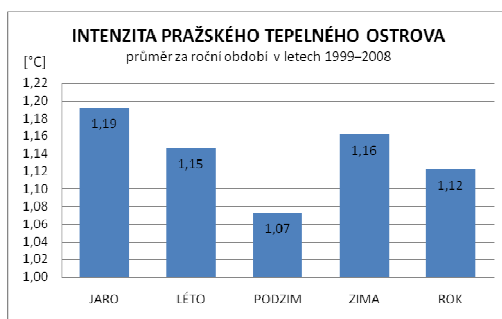
## 4.2 Intenzita městského tepelného ostrova Prahy a Berlína

### 4.2.1 Analýza vývoje intenzity

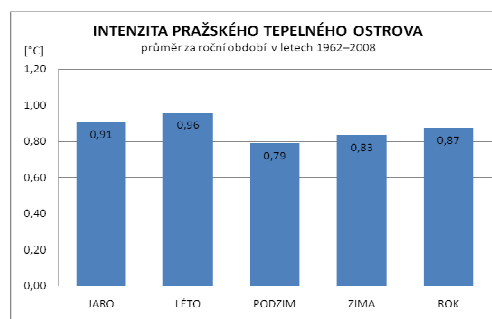
a



b



c

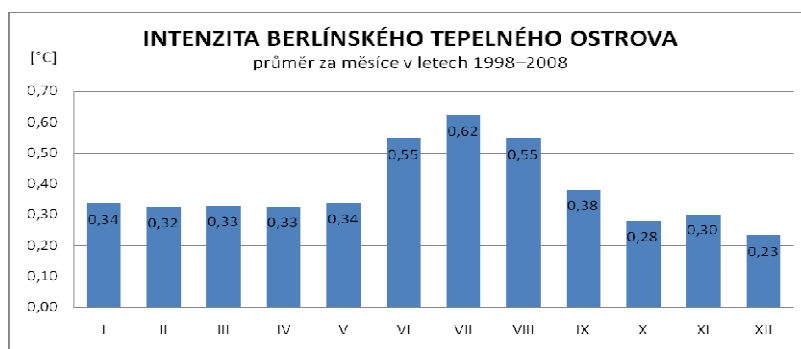


**Graf 7:** Intenzita pražského tepelného ostrova (a) za jednotlivé měsíce v období 1998–2008 (b) za roční období v letech 1999–2008 (c) za roční období v letech 1962–2008 (zdroj: ČHMÚ)

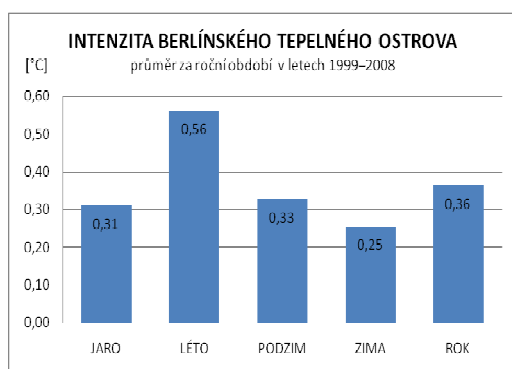
Intenzita pražského tepelného ostrova za posledních deset let byla počítána jako rozdíl teploty stanice Karlov a průměru teplot (na výšku stanice Karlov přepočítaných) ze stanic Doksany, Ruzyně a Semčice. Jako měsíce s největší intenzitou (Graf 7a) za období 1998 až 2008 se shodně jeví únor a březen, kdy Karlov je průměrně o 1,29 °C teplejší. O něco nižší rozdíl je v šestém měsíci roku (1,25 °C). Naopak jako měsíce s nejnižší intenzitou tepelného ostrova se jeví září (0,99 °C) a listopad (1,01 °C). Z pohledu ročních (Graf 7b) období vykazuje v krátkodobé minulosti největší intenzitu jaro (1,19 °C) před zimou (1,16 °C) a létem (1,15 °C), nejmenší podzim (1,07 °C).

Hodnoty intenzity za období 1961 (resp. 1962) až 2008 (Graf 7c) jsou počítány, jak už bylo uvedeno výše, pouze jako rozdíl Karlova a Ruzyně (přepočítané na nadmořskou výšku Karlova). Z těchto hodnot největší intenzitu vykazuje léto (0,96 °C) a nejmenší podzim (0,79 °C). Celoroční průměrná intenzita za období 1962–2008 je 0,87 °C oproti 1,12 °C za období 1999–2008. I z toho se zdá být patrné, že v závěru sledovaného období má intenzita pražského tepelného ostrova tendenci se zvyšovat (více viz kapitola 5.2)

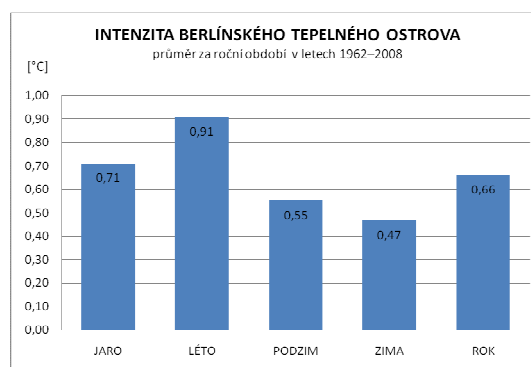
a



b



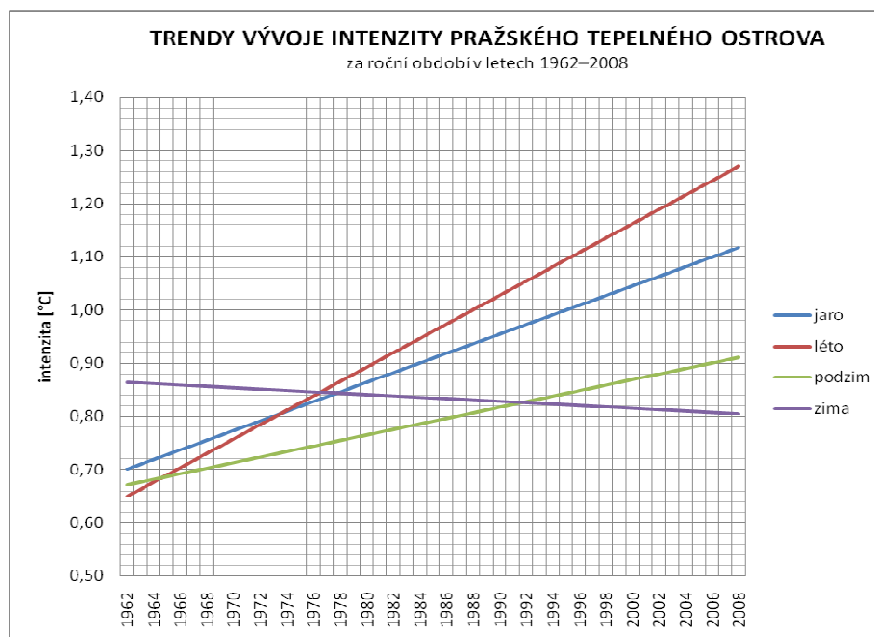
c



**Graf 8:** Intenzita berlínského tepelného ostrova (a) za jednotlivé měsíce v období 1998–2008 (b) za roční období v letech 1999–2008 (c) za roční období v letech 1962–2008 (zdroj: DWD)

Berlín vykazuje hodnoty intenzity tepelného ostrova v letech 1998–2008 (počítané z příměstských stanic Postupim, Neuruppin a Lindenberg) méně vyrovnané. Zřetelně zde vystupují hodnoty v letním období (Graf 8a). Největší intenzitu vykazuje červenec (0,62 °C) následován červnem a srpnem (shodně 0,55 °C). Nejmenší intenzitu vykazuje prosinec (0,23 °C). Co se týče ročních období (Graf 8b), tak největší intenzitu vykazuje berlínský tepelný ostrov v létě (0,56 °C) a nejmenší v zimě (0,25 °C).

Na rozdíl od Prahy vykazuje Berlín za delší období (1962–2008) větší průměrnou intenzitu než za kratší období (1999–2008). To je důsledek již zmíněného pomalejšího oteplování Berlína než Neuruppinu a Postupimi. Za období 1962–2008 (Graf 8c) vykazuje největší intenzitu také léto (0,91 °C), ale v pořadí druhé roční období s největší intenzitou není podzim (jako za období 1999–2008), ale jaro (0,71 °C). Celoroční průměrná intenzita je za období 1999–2008 téměř poloviční oproti 1962–2008 (0,36 °C oproti 0,66 °C).

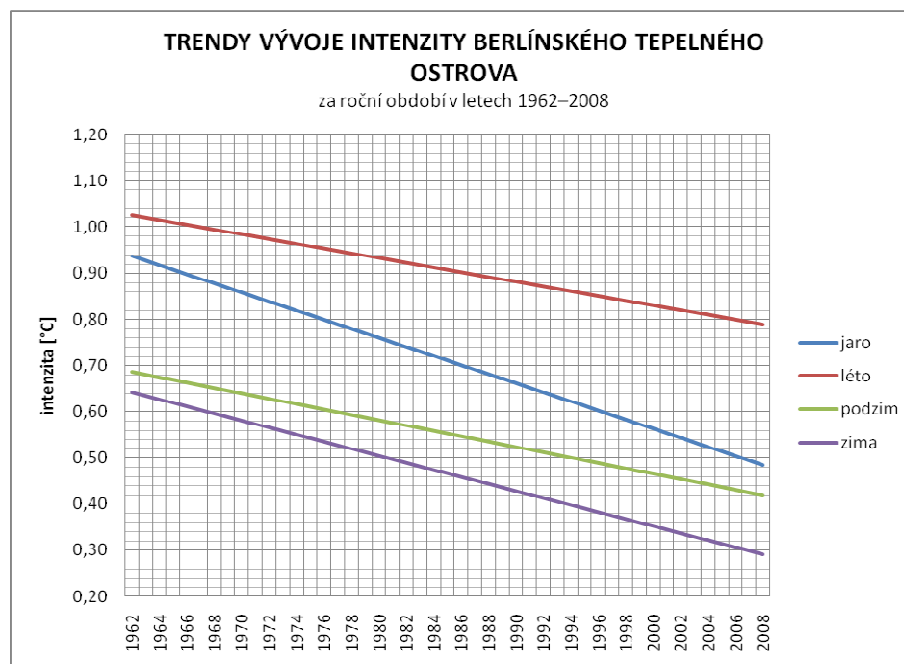


**Graf 9:** Lineární trendy intenzity pražského tep. ostrova za roční období 1962–2008 (zdroj: ČHMÚ)

**Tab. 9:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 9 (zdroj: ČHMÚ)

	rovnice regrese	koeficient determinace
jaro	$y = 0,0091x + 0,6918$	$R^2 = 0,3277$
léto	$y = 0,0135x + 0,6361$	$R^2 = 0,4198$
podzim	$y = 0,0052x + 0,6664$	$R^2 = 0,1162$
zima	$y = -0,0013x + 0,8653$	$R^2 = 0,0064$

Trendy v Grafech 9 a 10 se vztahují k dlouhodobému vývoji intenzity za období 1962–2008. Graf 9 znázorňuje trendy vývoje intenzity tepelného ostrova v Praze. Tento dlouhodobý vývoj intenzity je počítán jako rozdíl teplot Karlova a Ruzyně (převedené na nadmořskou výšku Karlova). Na rozdíl od Berlína můžeme sledovat mírný pokles pouze v zimním období (o 0,0013 °C/rok). V ostatních ročních obdobích intenzita narůstá. Největší nárůst intenzity vykazuje léto o 0,0135 °C ročně. To je o 0,0044 °C ročně více než na jaře a o 0,0083 °C za rok více než na podzim. Z grafu také vyplývá, že na počátku šedesátých let byl teplotní rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní v létě nejmenší a v zimě největší. O třicet let později to bylo přesně naopak. Nižší hladina spolehlivosti zejména u regresní přímky pro zimu je dána značným výkyvem intenzity v posledních dvou letech v zimním období (viz též Graf 15 a Tabulka 13). Průměr za rok činí 0,0066 °C/rok, to znamená vzrůst o 0,3 °C za sledované období (46 let).

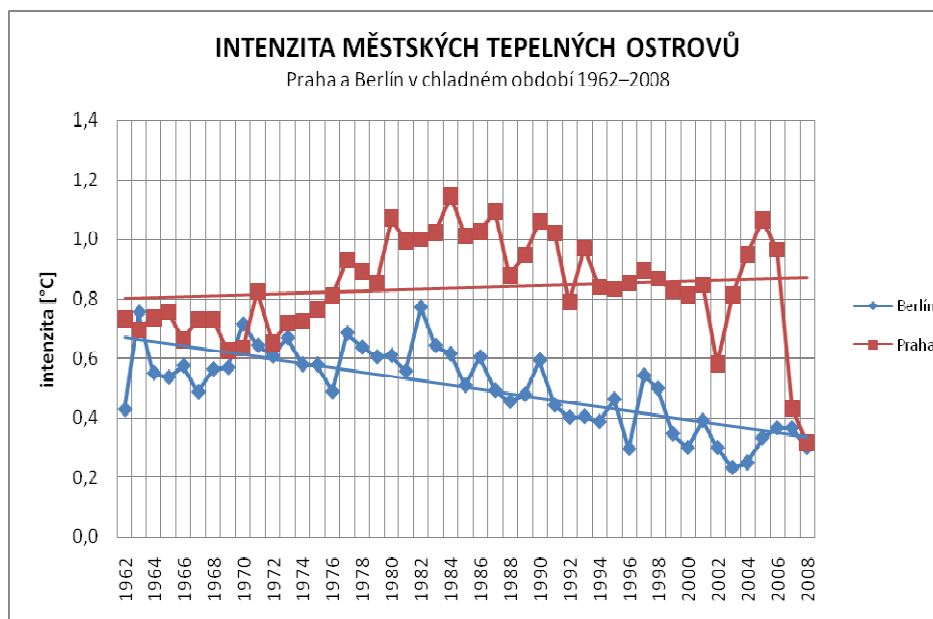


**Graf 10:** Lineární trendy intenzity berlínského tep. ostrova za roční období 1962–2008 (zdroj: DWD)

**Tab. 10:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 10 (zdroj: DWD)

	rovnice regrese	koeficient determinace
jaro	$y = -0,0098x + 0,9465$	$R^2 = 0,5737$
léto	$y = -0,0051x + 1,0307$	$R^2 = 0,1939$
podzim	$y = -0,0058x + 0,6916$	$R^2 = 0,3953$
zima	$y = -0,0076x + 0,6484$	$R^2 = 0,4267$

V případě Berlína se jedná o hodnoty ze „vzorce“ Berlín mínus průměr (Postupim + Neuruppin), kde teploty z Neuruppinu a Postupimi jsou upraveny o rozdíl v nadmořské výšce. U Berlína můžeme sledovat (Graf 10 a Tab. 10) pokles intenzity tepelného ostrova ve všech ročních obdobích. Nejvýraznější pokles se jeví na jaře ( $-0,0098$  °C/rok) naopak nejmenší pokles intenzity nastává téměř shodně v létě a na podzim ( $-0,0051$  resp.  $-0,0058$  °C/rok). Průměrný pokles činí  $-0,0071$  °C/rok, tedy  $0,33$  °C za sledované období (46 let).

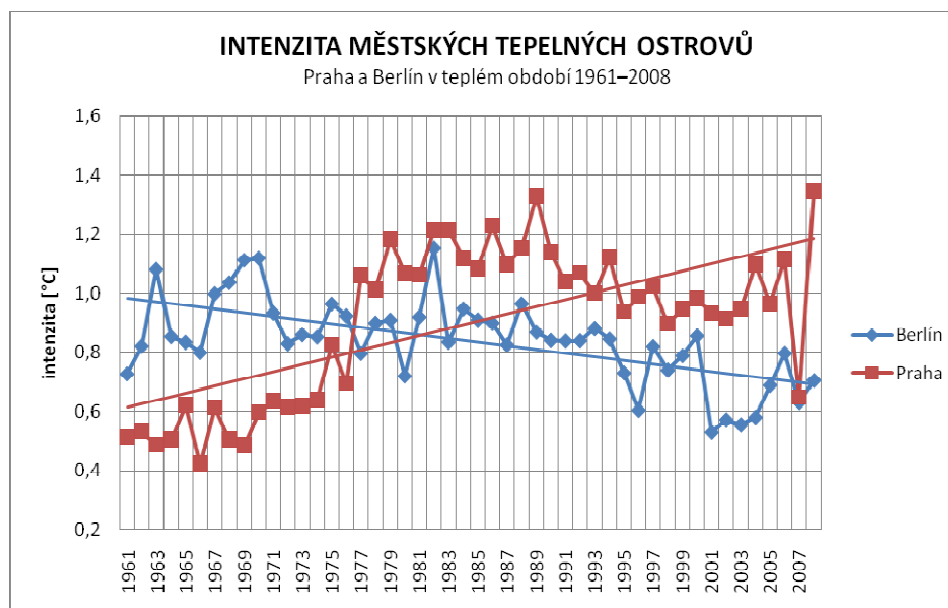


**Graf 11:** Vývoj intenzity městského tepelného ostrova v Praze a Berlíně v chladném období (říjen–březen) 1962–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

**Tab. 11:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 11 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

	rovnice regrese	koeficient determinace
Praha	$y = 0,0016x + 0,7995$	$R^2 = 0,0161$
Berlín	$y = -0,0073x + 0,6766$	$R^2 = 0,5334$

Při porovnání vývoje intenzity městských tepelných ostrovů za delší časová období se ukazuje, že v chladném půlroce (říjen–březen) intenzita pražského tepelného ostrova jen mírně roste, což je dáno zejména velmi nízkými hodnotami v posledních dvou letech (Graf 11). Intenzita berlínského tepelného ostrova klesá v chladném půlroce v průměru o 0,0073 °C za rok. U Prahy můžeme největší nárůst intenzity sledovat v 70. letech a největší hodnoty intenzity jsou zejména v 80. letech. To mimo jiné může souviset se zprovozněním Nuselského mostu (1973) a výrazným zesílením provozu v okolí Karlova. Důvodem poklesu intenzity v letech 2007 a 2008 je zejména pokles intenzity v zimě, což je zapříčiněno výrazně teplými zimami v letech 2007 a 2008, při kterých nebyl takový rozdíl mezi teplotami v Praze a mimo ni (viz Příloha 2). To je také nejspíš příčinou nižší hodnoty koeficientu determinace pro Prahu v Tab. 11. Svou roli mohl hrát také nárůst provozu na ruzyňském letišti.



**Graf 12:** Vývoj intenzity městského tepelného ostrova v Praze a Berlíně v teplém období (duben–září) 1962–2008 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

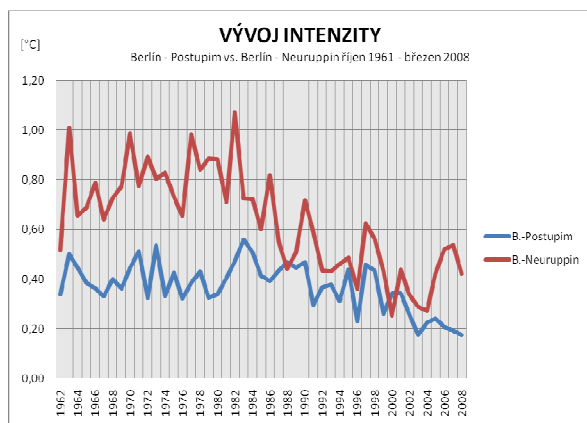
**Tab. 12:** Vlastnosti regresních přímek z Grafu 12 (zdroj: DWD a ČHMÚ)

	rovnice regrese	koeficient determinace
Praha	$y = 0,0121x + 0,603$	$R^2 = 0,4291$
Berlín	$y = -0,0062x + 0,9896$	$R^2 = 0,3648$

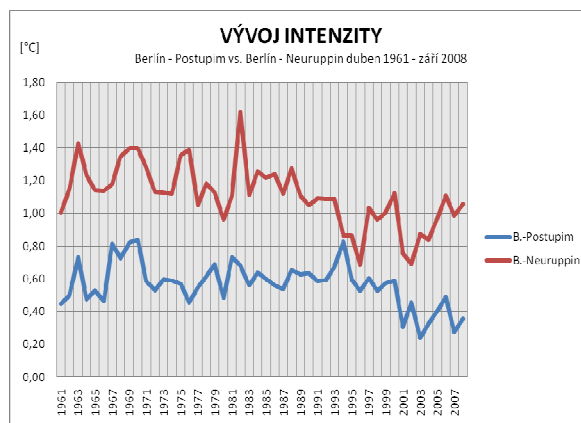
V teplém půlroce jsou rozdíly mezi Prahou a Berlínem ještě markantnější (Graf 12). Praha vykazuje meziroční růst intenzity o 0,0121 °C. Berlín vykazuje průměrný pokles o 0,0062 °C za rok. U Prahy je tedy růst intenzity mnohem výraznější než v chladném půlroce, naopak u Berlína je pokles intenzity pomalejší. U Prahy je vidět významný pokles intenzity v roce 2007. Rok 2008 byl ale naopak rok s největší intenzitou v teplém půlroce za sledované období. Až do roku 1976 vykazuje berlínský tepelný ostrov vyšší intenzitu než pražský. Vystřídání pozic je dáno nárůstem provozu v okolí Karlova, naopak poklesem letového provozu na letišti Tempelhof a zároveň velkým růstem teploty v Neuruppinu.

Graf 13 ukazuje, že teplotní náskok stanice Tempelhof se snižuje jak vůči Postupimi, tak vůči Neuruppinu. Zejména rozdíl mezi Tempelhofem a Neuruppinem klesá velmi výrazně v chladném půlroce (Graf 13a) a nejvíce se tento trend začíná projevovat v druhé polovině 80. let. To odpovídá opuštění letiště americkou armádou v roce 1985 a přenechání osobní dopravy, která však v té době byla z větší míry již přesunuta na jiná berlínská letiště. Nicméně výrazný pokles rozdílu teploty mezi Tempelhofem a Neuruppinem není způsoben jen poklesem intenzity tepelného ostrova na letišti, ale je z velké části zapříčiněn i oteplováním samotného Neuruppinu.

a



b



**Graf 13:** Vývoj intenzity Berlína vůči Postupimi (červeně) a Neuruppinu (modře) v (a) chladném a (b) teplém půlroce za období 1961–2008 (zdroj: DWD)

#### 4.2.2 Shrnutí analýzy

Intenzita pražského tepelného ostrova (na stanici Karlov) se po přepočítání teplot na stejnou nadmořskou výšku v průměru pohybuje kolem 0,8 °C v chladném půlroce. V teplém půlroce intenzita významně vzrostla v druhé polovině 70. let. Od té doby kolísá mezi 0,9 a 1,3 °C. V roce 2007 činil rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní pouze 0,6 °C. Takové hodnoty bylo dosaženo v teplém půlroce naposledy v roce 1973. Ve všech obdobích kromě zimy vykazuje intenzita Karlova vzestupný trend. Mírný pokles v zimě je způsoben anomálně malými zimními hodnotami intenzity v letech 2007 a 2008, kdy byly nezvyklé vysoké teploty na Ruzyni (Příloha 2).

Kromě klimatických příčin může mít na růst intenzity vliv i poloha stanice Karlov, která je poblíž severojižní magistrály. Teplotní rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní je největší v létě a na jaře, nejmenší na podzim. Teplotní rozdíly mezi Karlovem a průměrem stanic Doksany, Ruzyně a Semčice za posledních deset let jsou více vyrovnané a jako nejteplejší období vykazují jaro, před zimou a létem s minimálními rozdíly (viz Graf 7b).

Berlínský tepelný ostrov vykazuje ve všech ročních obdobích pokles intenzity, který však může být do značné míry zapříčiněn polohou berlínské stanice na letišti Tempelhof, tedy na místě málo pokrytém souvislým umělým povrchem. Další příčinou je celkem velký růst teploty v Neuruppinu. Rozdíl teploty mezi Berlínem a průměrem Neuruppinu a Postupimi (za období 1961–2008) je jednoznačně největší v létě a nejmenší v zimě. Intenzita za poslední desetileté období dosahuje v průměru pouze polovičních hodnot oproti období 1961–2008. Pokud porovnáme zvlášť vývoj rozdílu teplot mezi Berlínem a Neuruppinem a Berlínem a Postupimí, vyjde nám to, co bylo zřejmé již z trendů vývoje teplot. Rozdíl mezi Tempelhofem

a Neuruppinem klesá výrazněji než mezi Tempelhofem a Postupimí, a to zejména v chladném půlroce.

Průměrné hodnoty pro jednotlivá roční období jsou k dispozici v Příloze 3.



## 5 DISKUZE

### 5.1 Berlín

Z výsledků práce vyplývá, že průměrná teplota Berlína roste pomaleji, než průměrná teplota menší Prahy. Navíc podle grafů intenzita berlínského tepelného ostrova klesá, a to jak vůči průměrné hodnotě Neuruppinu a Postupimi, tak vůči každé ze stanic zvlášť. Tyto výsledky, jsou ale zkresleny několika faktory.

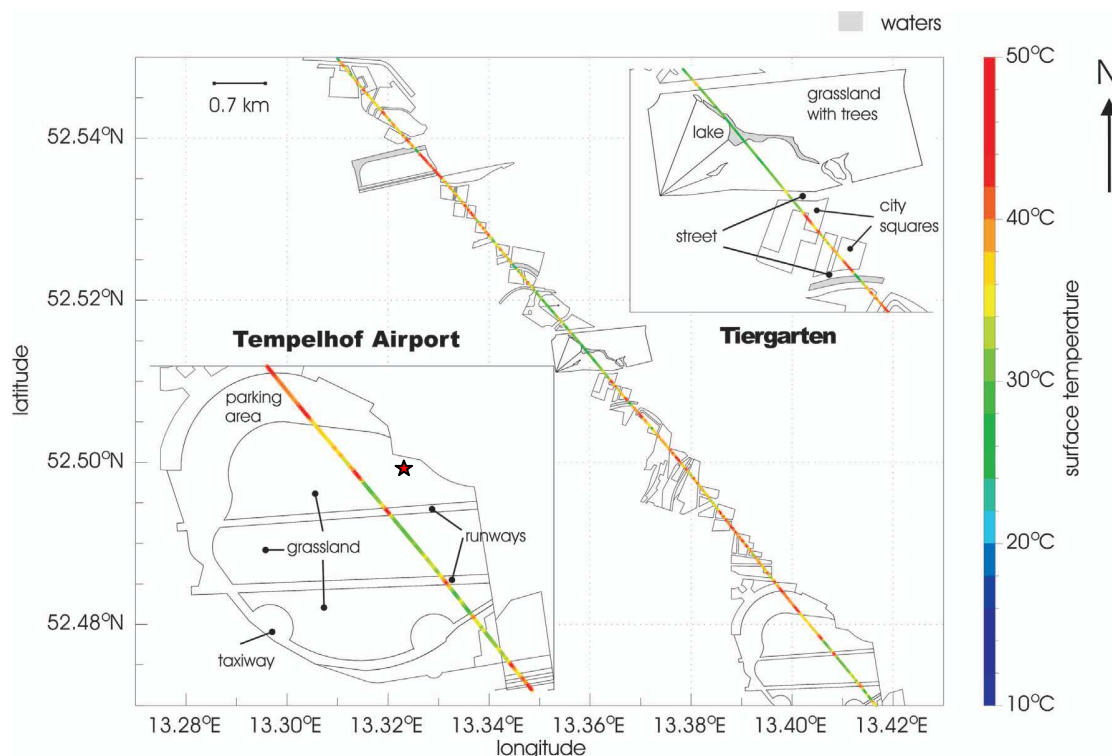
Prvním z nich je poloha měřicí stanice v Berlíně, z které byla data použita. Stanice se nachází na letišti Tempelhof, které sice leží v centru města, ale je to velká travnatá plocha, která je chladnější než okolní zástavba. Kottmeier, Biegert a Corsmeier (2007) provedli studii vlivu Land Use na povrchovou teplotu Berlína. Měření pomocí přeletů letadlem se prováděla 20. července 1998 za jasného tropického dne (maximální teplota 32 °C). Přeletů bylo provedeno několik. Největší rozdíly mezi povrchovou teplotou jednotlivých typů zemského povrchu byly zaznamenány při přeletu kolem 15:15 CEST. Obr. 11 ukazuje, že rozdíl v povrchové teplotě mezi zelenými plochami a plochami pokrytými umělým povrchem činil v této odpolední hodině až 20 °C. Meteorologická stanice se nachází na zatravněném území v SV části letiště (hvězdička na Obr. 11). Výše uvedené dokazuje, že stanice Tempelhof není úplně reprezentativní pro studii teploty v centru města. Jiná stanice bohužel však nebyla k dispozici.

Druhým významným faktorem, je značný růst průměrné teploty na stanici v Neuruppinu, který následně snižuje hodnotu intenzity tepelného ostrova. Je to patrně způsobeno tím, že Neuruppin, ač nevelké město (30 000 obyv.), je celkem průmyslové město s dvacetiprocentním podílem ekonomicky aktivních obyvatel pracujících v průmyslu (2 500). Průmyslová odvětví jsou zde velmi pestrá (chemický, automobilový, potravinářský, papírnický) (Ernst BASLER, 2008).

Naproti tomu u Postupimi by k velkému znehodnocování teplotních dat vlivem městského tepelného ostrova docházet nemělo „díky poloze stanice uprostřed lesa“ (Kürbis et al., 2009).

Z výše uvedeného by se mohlo zdát, že výsledky z německých stanic jsou naprosto irelevantní. Přesto existuje literatura, která potvrzuje, že průměrná teplota Berlína roste pomaleji než u srovnatelných aglomerací respektive, že intenzita tepelného ostrova je nižší. Kottmeier, Biegert a Corsmeier (2007) uvádějí, že tvorba tepelného ostrova v Berlíně je méně intenzivní než v jiných podobně velkých městech. Průměrný rozdíl povrchové (!) teploty ulic Berlína a okolí města činí 2–6 °C oproti běžným 10–15 °C v jiných městech. To je způsobeno

„relativně suchými písčitými půdami v okolí města, které jsou teplejší než jiné přírodní povrchy díky nižší evaporaci a nižší tepelné vodivosti“ (Kottmeier, Biegert a Corsmeier, 2007). Kottmeier, Biegert a Corsmeier (2007) odhadli, vzhledem k vlastnostem okolního povrchu, rozdíl mezi městem a okolím na přibližně 1 °C.



**Obr. 11:** Povrchová teplota v Berlíně při přeletu v 15 hodin 20. července 1998, vlevo ve výřezu letiště Tempelhof, červená hvězdička označuje polohu meteostanice (zdroj: Kottmeier, Biegert a Corsmeier, 2007)

Z. W. Kundzewicz et al. (2008) zkoumali oteplování klimatu na německých stanicích metodou porovnávání dvanáctiměsíčních souvislých řad. Porovnávali nejteplejší dvanáctiměsíční období (jakékoliv, nemusí být od ledna do prosince) do roku 2006 a po roce 2006. Na všech německých sledovaných stanicích byla průměrná teplota období po roce 2006 vyšší než před tímto rokem. I tady ovšem vyšel Berlín (Dahlem) jako pomaleji oteplující se, než Neuruppin a Postupim. Zajímavé je, že před rokem 2006 bylo nejteplejší dvanáctiměsíční období v Berlíně listopad 1778–říjen 1779 s průměrnou teplotou 11,1 °C. Po roce 2006 to bylo období červenec 2006–červen 2007 s teplotou 12,1°C. Rozdíl tedy činí přesně 1 °C. U Postupimi respektive Neuruppinu bylo jako nejteplejší období do roku 2006 zaznamenáno červenec 1999–červen 2000 s teplotou 10,7 (resp. 10,6) °C a po roce 2006 červenec 2006–červen 2007 s 12,1 (resp. 12,0 °C). Rozdíl tedy činí u obou stanic 1,4 °C. Nutno podotknout, že u Neuruppinu a Postupimi nebyla k dispozici tak dlouhá teplotní řada, takže je možné, že i u ostatních stanic by bylo období jako u Berlína teplejší, než zaznamenané rekordy.

Kundzewicz et al. (2008) také uvádí, že „mezi 13 nejteplejšími kalendářními roky v německých záznamech od roku 1850 bylo 12 z těchto let z období 1995–2008. Nejteplejší byl celosvětově rok 1998 a každé z let 2001–2007 se zařadilo mezi druhý až osmý nejteplejší rok v historii měření“.

Další příčinou nízké intenzity tepelného ostrova Berlína může být příznivá daňová politika v Německu pro výstavbu tzv. „zelených střech“. Přibližně 10 procent všech plochých střech v Německu je pokryto zelení. Tyto střechy (Obr. 12) mají na teplotu ve městě velký vliv. Studie na Floridě například prokázala, že průměrná maximální teplota zelených střech je 30 °C oproti 57 °C u normálních světlých střech. Studie z Toronta zase předpokládá, že pokrytí zelení 50 % všech střech by znamenalo snížení teploty v centru města o 0,1 až 0,8 °C. Zavlažováním by bylo možné snížit teplotu až o 2 °C (U.S. Environmental Protection Agency, 2009).

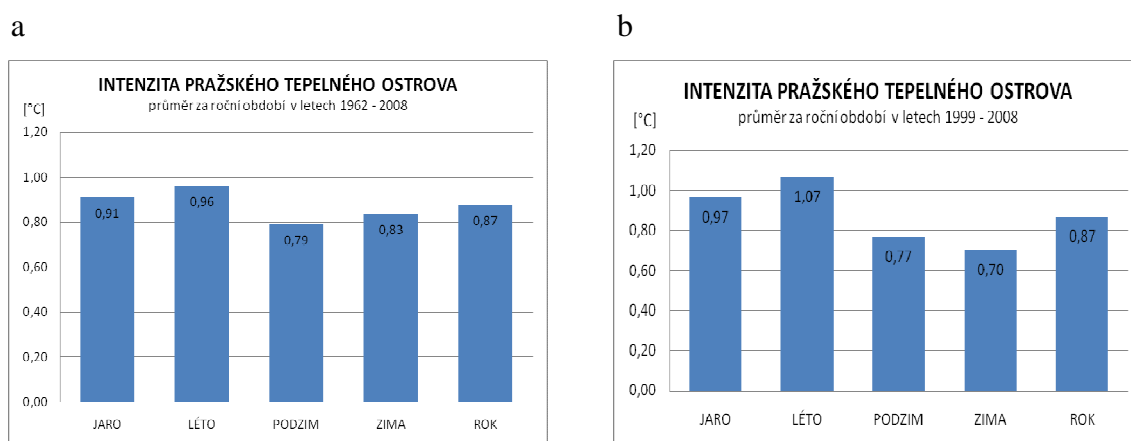


**Obr. 12:** *Příklad zelené střechy (U.S. Environmental Protection Agency, 2009)*

## 5.2 Praha

Výsledky z Prahy více odpovídají předpokladům. Intenzita městského tepelného ostrova roste. Výskyt tepelného ostrova v Praze podporuje mnoho faktorů od nevyřešené dopravní situace po, pro městský tepelný ostrov příhodnou, polohu centra města v celkem hlubokém říčním údolí Vltavy (a naopak poloha stanice Ruzyně na větrné a otevřené plošině).

Co se týče výsledků, diskutabilní mohou být rozdíly mezi delší řadou z let 1961–2008, kde byla intenzita počítána pouze jako rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní (Graf 7c) a kratší řadou za období 1998–2008, kde byla intenzita počítána jako rozdíl Karlova a průměru stanic Doksany, Ruzyně a Semčice (Grafy 7a,b v kapitole 4.2.1). V prvním případě se jeví jako období s největší intenzitou léto s průměrnou hodnotou 0,96 °C následováno jarem, zimou a posledním podzimem. V druhém případě spadlo léto až za jaro a zimu. Podzim zůstal na posledním místě. Všechna roční období se dostala přes 1 °C a rozdíly mezi nimi nejsou nijak výrazné. Je otázkou, zda došlo za posledních deset let k takovému nárůstu intenzity v zimě a na jaře, nebo zda se jedná pouze o zkreslení díky většímu počtu analyzovaných stanic. Pokud porovnáme teplotní rozdíly pouze mezi Karlovem a Ruzyní za posledních deset let a delší časové období (1962–2008), vyjdou nám podobné hodnoty. Významný je pouze pokles průměrné intenzity v zimě (Graf 14a,b). Průměrná roční odchylka Karlova a Ruzyně zůstává stejná (0,87 °C). V posledním desetiletí ale vzrostl rozdíl mezi stanicemi v létě, naopak poklesla významnost zimy. Výsledky z Grafu 7b jsou tedy jiné hlavně díky více příměstským stanicím, přičemž Semčice už jsou možná příliš vzdálená stanice (cca 60 km).



**Graf 14:** Rozdíl teploty mezi Karlovem a Ruzyní (po přepočtení na stejnou nadmořskou výšku) (a) za roční období v letech 1962–2008 a (b) za roční období v letech 1999–2008 (zdroj: ČHMÚ)

Porovnáme-li naše výsledky s výsledky z jiných zdrojů, souhlasí překvapivě spíše s výsledky intenzity počítané jako rozdíl Karlova a Ruzyně. Beranová a Huth (2003) srovnávali intenzitu městského ostrova v Praze-Klementinu ve vztahu k synoptickým podmínkám. Intenzita byla počítána jako rozdíl minimální denní teploty v Klementinu a průměru tří stanic ve vzdálenosti do 50 km od Prahy – Ondřejov, Hostomice a Doksany. Na rozdíl od naší práce nepřepočítávali Beranová a Huth nadmořské výšky stanic na stejnou výšku z důvodu zkoumání rozdílů při různých cirkulačních typech. Jako roční období

s nejvyšší průměrnou intenzitou se ukázalo léto ( $2,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) před jarem, podzimem a zimou ( $2,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Navíc Beranová a Huth (2003) zjistili, že největší intenzity nabývá městský tepelný ostrov při anticyklonálních situacích. Letní maximum intenzity tepelného ostrova odůvodňují největším ukládáním tepla v městských materiálech a následné uvolňování tepla v nočních hodinách. Ve vztahu k synoptickým situacím dosahuje městský tepelný ostrov největší intenzity při anticyklonálních situacích v létě, kdy je asi o  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  vyšší než při cyklonálních situacích. Nejmenší rozdíl mezi anticyklonální a cyklonální situací je v zimě díky častým inverzím při anticyklonálních situacích. Extrémní intenzita (více než  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se vyskytuje v létě z  $9,7\text{ }\%$  a v zimě v  $7,1\text{ }\%$  případů. Trend růstu intenzity tepelného ostrova vyšel v ročním průměru  $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ let}$ .

Brázdil a Budíková (1999 in Štěpánek, 2005) ve své práci píše, že v letech 1925–1995 bylo oteplení pražského tepelného ostrova největší na jaře a v zimě ( $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ ) a nejmenší v létě. Od šedesátých let se podle autorů objevuje stagnace ve vývoji tepelného ostrova (in Štěpánek, 2005).

Milada Šandová (2007) zkoumala rozložení teplotních anomálií na území ČR. Použila data ze 151 stanic a jejich teplotu přepočítala na hladinu moře. Prokázala, že Praha dosahuje anomálie až  $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (nejvíce v zimě, nejméně na jaře) a ovlivňuje i okolní oblasti zejména směrem na JV (Pražská plošina a Posázaví), které jsou o  $0,2\text{--}0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  teplejší než dlouhodobý průměr ČR. Šandová (2007) poukazuje na to, že „během zimy je městský tepelný ostrov izolovanější než během léta“.

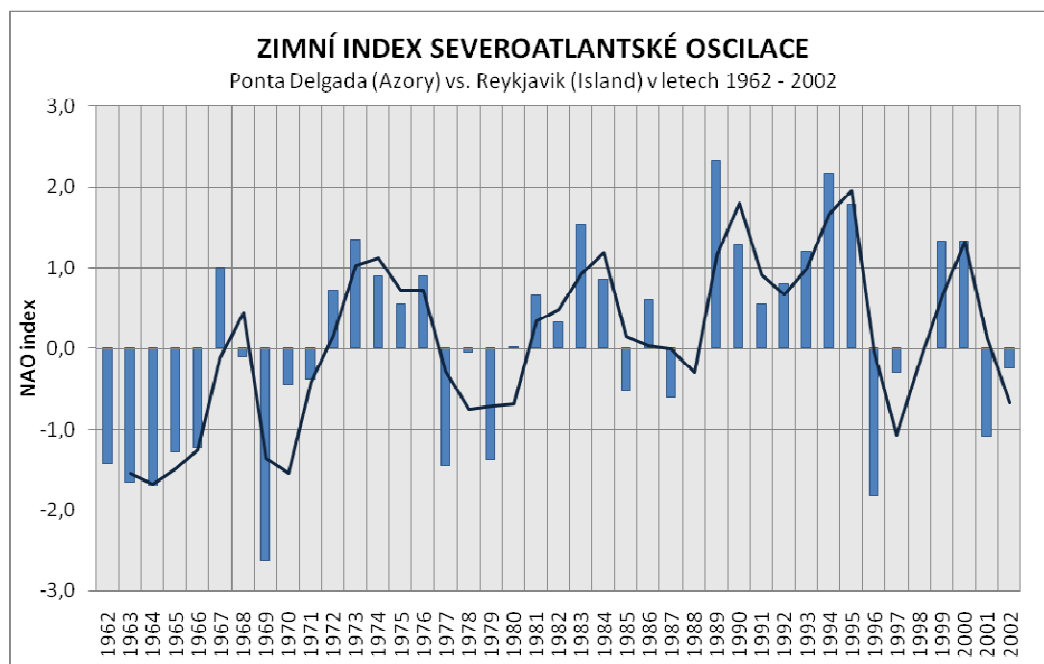
Dagmar Stieblingová (2004) analyzovala ve své diplomové práci teplotní řady z Karlova a Ruzyně z let 1961–2002. Zjistila, že největší vliv tepelného ostrova je v únoru a letních měsících, nejmenší na podzim. Rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní činil  $1,4\text{--}1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Průměrná roční změna teploty dosahuje na Ruzyni  $0,0221\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{rok}$  a na Karlově  $0,0317\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ . Naše výsledky teplotní řady prodloužené o šest let a počítané z měsíčních průměrů udávají čísla  $0,0286\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{rok}$  pro Ruzyni a  $0,0355\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{rok}$  pro Karlov. Jako nejchladnější den vyšel Stieblingové 13. leden a nejteplejší 30. červenec až 1. srpen. To znamená posun vrcholu léta oproti údajům ze starší literatury (Gregor, 1968 in Stieblingová, 2004), která uvádí jako nejteplejší den 15.–31. červenec.

### 5.3 Severoatlantská oscilace

Jedna věc je z výsledků práce naprosto zřejmá. Na všech stanicích ve všech ročních obdobích (nejvíce v zimě) dochází (více či méně) k oteplování. Jako hlavní příčina tohoto jevu, zejména právě v zimě, se jeví vliv **severoatlantské oscilace** (NAO).

Severoatlantská oscilace je klimatický jev, pozorovaný na severu Atlantského oceánu a spojený se změnami tlaku mezi tlakovou níží nad Islandem a tlakovou výší u Azorských ostrovů. Ovlivňuje sílu a směr převažujícího západního proudění nad Atlantikem a s tím spojené projevy počasí nad Evropou, Severní Amerikou, severní Asií a částečně i severní Afrikou. Změny v chodu NAO se pozorují pomocí indexu severoatlantské oscilace (Graf 15), který je definován jako anomální rozdíl mezi polární (Islandskou) tlakovou níží a subtropickou (Azorskou) tlakovou výší (LDEO Columbia, 2009).

NAO má velký vliv na zimní teploty napříč celou severní polokoulí. Povrchové teploty vzduchu a povrchová teplota moře v oblasti severního Atlantiku, Severní Ameriky, Arktidy, Eurasie a Středomoří významně korelují se změnami NAO (Obr. 18). Tabulka 13 ukazuje korelaci zimního indexu NAO s průměrnými zimními teplotami (prosinec–březen) pozorovaných stanic. Korelační koeficienty jsou u všech stanic celkem vysoké, nejvyšší je u Berlína a Neuruppinu (0,70). Podzim koreluje celkem významně hlavně díky zimnímu charakteru měsíce listopadu. U jara a léta je korelace menší.



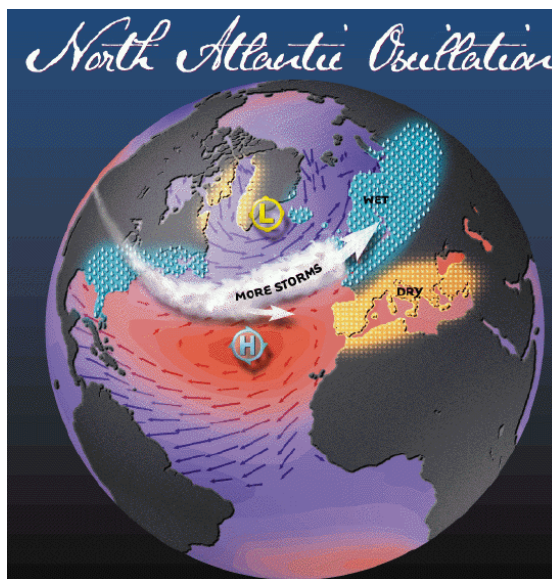
**Graf 15:** Zimní index NAO 1962–2002, rozdíl tlaků při hladině moře – Ponta Delgada (Azory) a Reykjavik (Island) (zdroj: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>)



**Tab. 13:** Korelace průměrných teplot pro roční období (1962–2002) s indexem NAO (zdroj: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>)

období	Berlín	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
zima (XII–III)	0.70	0.69	0.70	0.68	0.66
jaro	0.27	0.27	0.25	0.29	0.28
léto	0.04	0.04	0.11	0.19	0.18
podzim	0.50	0.49	0.50	0.48	0.48
říjen–březen	0.59	0.59	0.60	0.59	0.55
duben–září	0.14	0.10	0.14	0.13	0.16

Změny v povrchové teplotě (a související změny chodu srážek a bouří) mohou mít významný dopad na celou škálu lidských činností, jakož i na mořské a suchozemské ekosystémy. Když je NAO index kladný, posílené západní proudění napříč celým severním Atlantikem během zimy přináší relativně teplý a vlhký mořský vzduch nad většinu Evropy a následně i do Asie, zatímco silnější severní proudění přes Grónsko

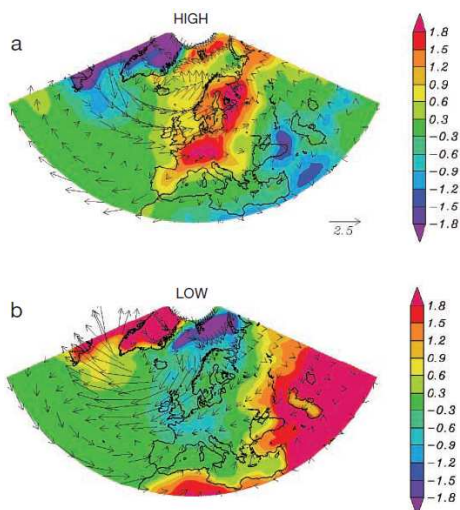


a severovýchodní Kanadu se studeným vzduchem způsobuje pokles povrchové i mořské

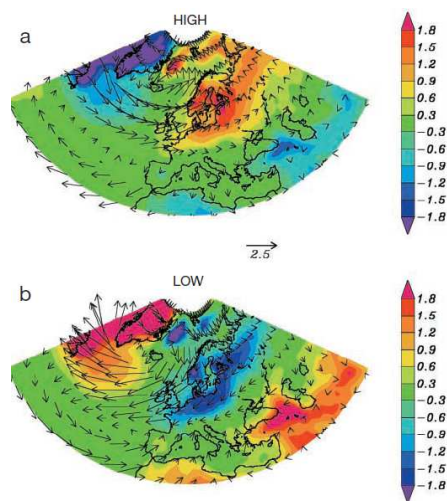
**Obr. 13:** Situace při kladném indexu NAO (zdroj: LDEO Columbia, 2009)

teploty v severozápadním Atlantiku (Obr. 13). Zaznamenány jsou také změny teplot nad severní Afrikou a Středním východem (ochlazení) a v Severní Americe (oteplení) související se silnější cirkulací vzduchu v oblasti Azorské tlakové výše. NAO ovlivňuje variabilitu zimních teplot zhruba na 1/3 plochy severní polokoule (Hurrell, 2000).

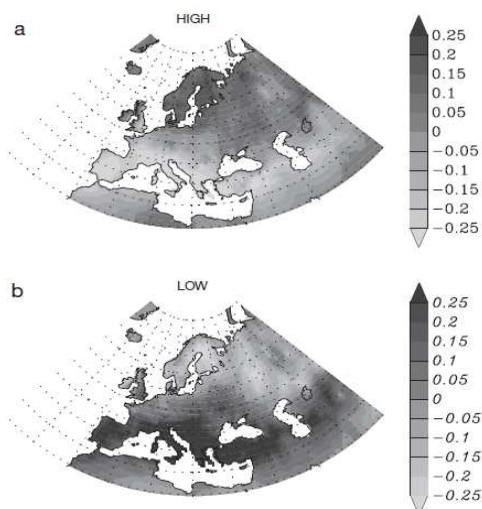
Tato teplotní anomálie má vliv i na většinu střední Evropy (a dokonce i na Pyrenejský poloostrov, severní Itálii a Balkán). Projevuje se především u maximálních denních teplot, ale už ne tolik u nočních minimálních teplot (Obr. 14 a 15). Při pozitivním NAO indexu dochází ve střední Evropě a na Pyrenejském poloostrově v zimních měsících k anomální anticyklonální cirkulaci a s tím souvisejícímu poklesu oblačnosti (Obr. 16). To má za následek větší příjem slunečního záření a zároveň větší vyzařování tepla v noci, což vysvětluje rozdíly mezi maximální a minimální teplotou (Trigo, Osborn a Corte-Real, 2002).



**Obr. 14:** Odchylka  $T_{max}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) pro zimní měsíce (a) NAO index  $> 1,0$  a (b) NAO index  $< -1,0$  (zdroj: Trigo, Osborn a Corte-Real, 2002)



**Obr. 15:** Odchylka  $T_{min}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) pro zimní měsíce (a) NAO index  $> 1,0$  a (b) NAO index  $< -1,0$  (zdroj: Trigo, Osborn a Corte-Real, 2002)

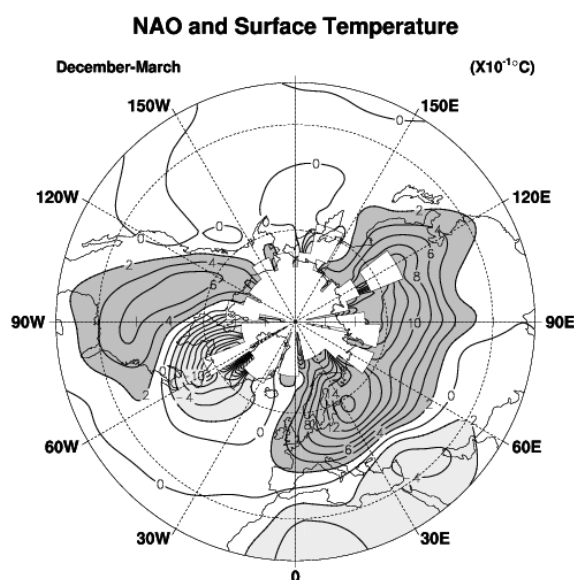


**Obr. 16:** Odchylka v oblačnosti v zimních měsících. (a) NAO index  $> 1,0$ , (b) NAO index  $< -1,0$  (zdroj: Trigo, Osborn a Corte-Real, 2002)

Síla vazby mezi NAO a teplotami na severní polokouli je podle Jamese Hurrela (2000) velkým argumentem pro diskuzi o schopnostech vědců rozpoznat a rozlišit přírodní a antropogenní vlivy na změny klimatu. Od počátku 80. let jsou zimní teploty nad většinou Severní Ameriky a Eurasie výrazně vyšší oproti dlouhodobému průměru, zatímco teploty nad severními oceány jsou mírně chladnější (Obr. 17). To odpovídá Grafu 15, kde můžeme vidět, že kladný index NAO se začíná výrazněji prosazovat od poloviny 70. let. Z Obr. 17 vyplývá, že v oblasti stanic pozorovaných v této práci došlo za období 1935–1999 k vzestupu povrchové teploty vlivem NAO o 0,8 až 1,0  $^{\circ}\text{C}$ . Je zřejmé, že NAO významnou měrou

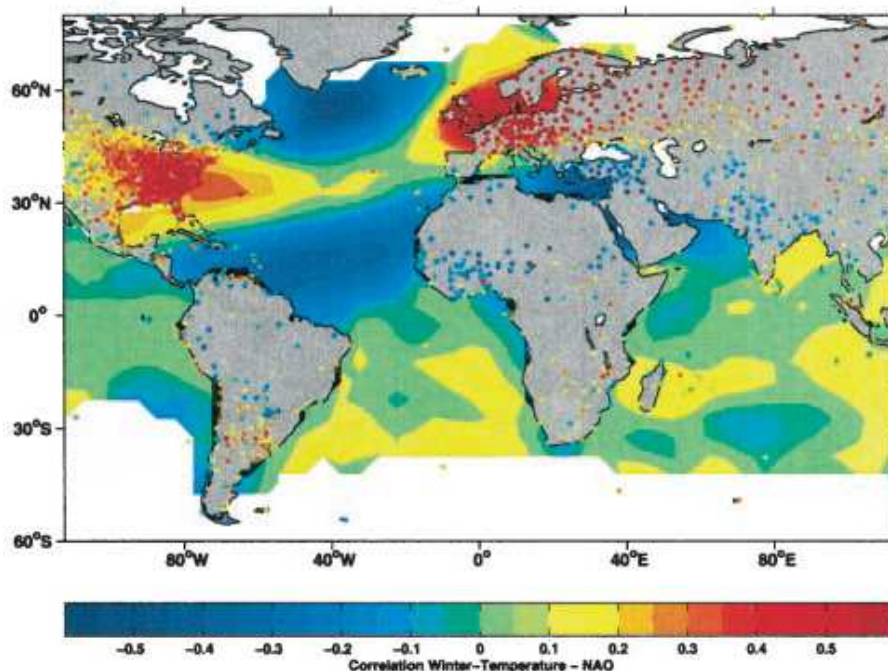


přispívá k prokázání trendu oteplování na severní polokouli a růstu globálních teplot v posledních desetiletích. Vývoj NAO podle Hurrela (2000) přibližně odpovídá počítačovým modelům, které sledují změny zimních teplot způsobené rostoucí koncentrací skleníkových plynů a aerosolů. Je zřejmé, že významná část těchto teplotních změn je způsobena vzestupným vlivem NAO. Do jaké míry jsou přírodní procesy, jako severoatlantská oscilace, způsobující variabilitu klimatu ovlivněny antropogenními procesy, zůstává nadále ústřední otázkou výzkumů (Hurrel 2000). Například Bucha a Bucha (1996 in Cahynová, 2004) odůvodňují změny indexu NAO změnami geomagnetické a sluneční aktivity.



**Obr. 17:** Změny v povrchových teplotách pevniny a mořské hladiny ( $\times 10^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) související s odchylkami indexu NAO za zimní měsíce (prosinec–březen) v letech 1935–1999. Rozestupy mezi izoliniemi  $0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Změny teploty  $> 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  jsou vyznačeny tmavošedou, změny teploty  $< -0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  jsou vyznačeny světlešedou. Oblasti s nedostatkem dat nejsou zakresleny (zdroj: Hurrel 2000)

Winter (DJFM) SST and Land Temperature correlated with NAO index



**Obr. 18:** Korelace průměrné zimní teploty (prosinec–březen) a indexu NAO (zdroj: Visbeck, 2001)

Cahynová (2004) se ve své diplomové práci zabývá vlivem NAO respektive indexu ZIEU – rozdíl tlaků 35. a 65. rovnoběžky severní šířky – na teploty ve střední Evropě. Podle Cahynové znamená zvýšení zimního průměru indexu ZIEU o 1 směrodatnou odchylku (6,8 hPa pro 1962–1998) zvýšení teploty od 0,75 °C v Klagenfurthu po 2 °C ve Varšavě. Pro Prahu to podle Cahynové interpolace znamená oteplení o 1,5 °C, pro Postupim 1,8 °C–1,9 °C a pro Neuruppin 1,9 °C–2,0 °C. Je tak zřejmé, že rychlé oteplování Neuruppinu může být způsobeno i severnější polohou oproti Berlínu a Postupimi a tedy větším vlivem NAO. Cahynová píše, že pro NAO neplatí žádná časová persistence nebo autokorelace, tudíž má velké meziroční kolísání.

## 5.4 Vliv měst na globální klima

Literatura se také zabývá vlivem urbanizovaných oblastí na globální klima. Je stále předmětem výzkumů, do jaké míry mají městské tepelné ostrovy vliv na trendy teplot ve větším než lokálním měřítku. Peterson a Owen (2005) poukázali na malé odlišnosti mezi teplotními trendy z celkové klimatologické sítě Spojených států (US Historical Climatology Network) a teplotními trendy bez 16 % řad ze stanic nacházejících se v obci s více než 30 000 obyvateli. Trendy pouze z příměstských stanic byly téměř totožné s trendy obsahujícími data z městských stanic. Peterson (2003) se domnívá, že město s populací menší

než 10 000 obyvatel je venkovské a jeho teplotní data nejsou nijak ovlivněna urbanizací. Oke (1973) ale tvrdí, že teplota městského tepelného ostrova roste podle vzorce:  $UHI = 0,73 \log_{10}(pop)$ , kde *pop* je počet obyvatel. To by znamenalo, že obec o 10 obyvatelích má výhřevnost 0,73 °C, 100 obyvatel produkuje 1,46 °C a město o jednom tisíci obyvatel má tepelný výdej 2,2 °C. Milionové město potom vychází na 4,4 °C.

Hughes tvrdí, že při vzrůstu počtu obyvatel od roku 1900 na 6 miliard by Okeovu vzorci odpovídal tvar  $2,2 \log(6)$ , tedy vzrůst teploty asi o 1,7 °C, což je číslo větší než pozorované oteplování 0,6 °C. Pokud však bereme na vědomí, že se městské tepelné ostrovy vyskytují jen na pevnině (29 % zemského povrchu), provedeme výpočet  $0,29 \cdot 1,7 = 0,49$  °C, což už více odpovídá pozorovanému oteplení. Podle Hughese proto není zcela vyloučeno, že většinu pozorovaného oteplení ve 20. století tvoří městské tepelné ostrovy (Hughes, 2008).

Městský povrch významně přispívá k změnám chodů teplot a srážek na místním a regionálním měřítku. Trusilova a kol (2008) uvádí, že městský povrch lokálně vede ke snížení denního teplotního rozpětí o více než 1,2 °C v létě a 0,7 °C v zimě. Změny v cirkulaci atmosféry, způsobené městským povrchem, způsobují podle autorů v evropských městech růst zimních srážek o přibližně 8 % a pokles letních srážek o cca 19 %. Bylo dokázáno, že městský povrch silně ovlivňuje nejen lokální klima měst, ale stejně tak klima okolí města. Tento výsledek je důležitý zejména pro předpověď dopadů růstu měst na lokální a regionální klima.

Pochopení fyzikálních mechanismů vytvářejících tepelný ostrov je základ pro rozvoj opatření, která mohou regulovat tepelný ostrov, ale v některých případech je použití těchto opatření obtížné. Například rozsáhlé změny urbanizovaných ploch změnou prostorového řešení budov je v podstatě nemožné. Ale jsou tu další možnosti, například používání světlých materiálů, nebo ochlazování vzduchu pomocí vysazování zeleně, která zaprvé zabraňuje zahřívání povrchů svým stínem a zadruhé osvěžuje vzduch díky transpiraci (Voogt, 2004).

Vysazování více zeleně ve městech je asi nejjednodušší, ale zároveň velmi účinný způsob, jak regulovat intenzitu městského tepelného ostrova a zpříjemnit tak život obyvatelům města. Navíc výsadba zeleně má nejen ekologický, ale také estetický a sociologický účinek (viz např. kniha V. Cílka – Krajina vnější i vnitřní).

Zeleň má ve městě podle Voogta (2004) mnoho způsobů efektivního využití. Například výsadba stromů kolem jednotlivých budov pro zastínění městských ploch a stěn budov orientovaných ke slunci a snížení jejich teploty. To vede k podstatnému snížení spotřeby energie pro klimatizaci. Stromy lze také použít k zastínění silnic a parkovišť, které se jinak během dne velice zahřívají a následně v noci vyzařují velké množství tepla. Zastínění

vozidel na parkovištích může vést ke snížení emisí z benzínu, které přispívají ke zvýšení hladiny přízemního ozonu. Již zmiňované "zelené střechy" snižují tepelnou akumulaci budov a významnou část celkové absorbované energie využívají k odpařování vody ze zeleně na střeše a ne k ohřívání střech a vzduchu nad nimi.

Vytváření zelených ploch, jako jsou parky, může napomáhat ochlazování čtvrtí (viz Obr. 19) a celkové zvýšení množství zeleně ve městě vede k ochlazování městské atmosféry. Zeleň ve městě napomáhá zachytávání škodlivin na městské zeleni (a jejich neodnášení za město), snižování emisí skleníkových plynů z klimatizací, snižování množství těkavých plynů v městské atmosféře a snižování množství přízemního ozonu (Voogt, 2004).



**Obr. 19:** *Isotermie v Chapultepec Park v Mexiko City 3. prosince 1970 (5:28–6:28) za jasného, bezvětřného počasí (zdroj: Mills, 2004)*

Městské tepelné ostrovy samy nejsou odpovědné za globální oteplování, protože jsou malého měřítka a pokrývají malou část zemského povrchu. Podle Voogta (2004) však existují některé spojitosti mezi klimatem globálního a městského měřítka:

1. Přibližně polovina světové populace žije ve městech, a tato hodnota se podle očekávání zvýší na 61% do roku 2030. Vysoká míra urbanizace, především v tropech, znamená, že stále více lidí bude vystaveno dopadům tepelných ostrovů.
2. První měření klimatu v historii probíhala v městských oblastech, a tato data jsou často používána pro určování globálního klimatu a z těchto dat se vědci snaží dokázat existenci globálních změn klimatu. Vlivy urbanizace, a tudíž i městského tepelného ostrova, mohou však tato historická data znehodnocovat a musí se z nich tyto vlivy odstranit. Současné

metody odstraňování těchto vlivů však nemusí být plně směrodatné a spolehlivé.

3. Většina skleníkových plynů, které přispívají ke globální změně klimatu, pochází z městských aglomerací. Další urbanizace zvýší podíl emisí těchto plynů z městských aglomerací. Zkoumání rozsáhlejších dopadů městských emisí na světové klima je důležitou oblastí pro další výzkum.

4. Změny klimatu ve velkých městech v průběhu minulého století nám ukazují, jak se bude vyvíjet celosvětové klima. Proto města mohou sloužit jako model pro řešení globálních změn klimatu.

## 6 ZÁVĚR

V této práci byly analyzovány teplotní řady ze tří stanic v Německu a dvou stanic v Česku. Cílem práce bylo analyzovat vývoj intenzity městských tepelných ostrovů v Praze (stanice Karlov) a Berlíně (stanice Tempelhof) za období 1961–2008. Pro analyzování intenzity byla použita data z příměstských stanic Ruzyně (u Prahy) a stanice Postupim a Neuruppin (u Berlína).

U Prahy byl prokázán posilující vliv městského tepelného ostrova, a to v průměru o  $0,0066\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$  během sledovaného období. Největší růst intenzity byl v Praze prokázán v létě ( $0,0135\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ ), mírný pokles vyšel v zimě ( $-0,0013\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ ). Průměrná hodnota intenzity městského tepelného ostrova činila za sledované období  $0,87\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Největší intenzity dosahuje Karlov v létě ( $0,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), nejmenší na podzim ( $0,79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Průměrná teplota stanice Karlov vzrostla za sledované období o  $0,0355\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$  a u stanice Ruzyně o  $0,0286\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ .

U Berlína posilující vliv městského tepelného ostrova prokázán nebyl. Naopak ve všech měsících došlo k poklesu intenzity vzhledem k průměru stanice Postupim a Neuruppin. Roční intenzita tepelného ostrova činí v průměru  $0,66\text{ }^{\circ}\text{C}$  s poklesem za sledované období o  $0,0071\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ . Největší intenzity dosahuje tepelný ostrov Berlína v létě ( $0,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), nejmenší v zimě ( $0,47\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). To je dáno především značným nárůstem průměrné teploty v Neuruppinu, způsobeným pravděpodobně poměrně silným zastoupením průmyslu ve městě a také nejsilnějším vlivem severoatlantské oscilace na tuto stanici. Průměrná teplota v Neuruppinu vzrostla o  $0,0378\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ , oproti tomu v Berlíně pouze o  $0,0287\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$  a v Postupimi o  $0,0325\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$ .

Na všech stanicích byl zjištěn největší nárůst průměrné teploty v zimě. Korelací byla prokázána relativně velká závislost ( $0,66\text{--}0,70$ ) vývoje zimních teplot na severoatlantské oscilaci.

## 7 ZDROJE

### 7.1 Použitá literatura

- BERANOVÁ R., HUTH, R. (2003): Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. *Meteorologické zprávy*, 56, 137–142.
- CAHYNOVÁ, M. (2004): *Severoatlantská oscilace a její vliv na teplotní a srážkové poměry střední Evropy*. Diplomová práce. Přf UK. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha. 66 s.
- ČERVENÝ, J. et al. (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR, Praha: SZN, 1984, 414 s.
- DWD (2008): *Klimawandel im Detail – Zahlen und Fakten zum Klima in Deutschland zum Jahr 2007*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.dwd.de>>.
- FRICH, P. et al. (2002): Observed coherent changes in climatic extremes. *Climate research*, Vol. 19, str. 193–212.
- HONSOVÁ, D. (2006): Teplotní inverze – počasí naopak. *Příroda.cz*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=567>>.
- HURRELL, J. W. (2003): Climate Variability: North Atlantic and Arctic Oscillation. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*: s. 439–445.
- KOTTEK, M. et al. (2006): World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, Vol. 15, str. 259–263.
- KOTTMEIER, C., BIEGERT, C., CORSMEIER, U. (2007): Effects of Urban Land Use on Surface Temperature in Berlin: Case Study, *Journal of urban planing and development*, červen 2007, s. 128–137

- KUNDZEWICZ, Z. W. et al. (2008): Recent anomalies of mean temperature of 12 consecutive months – Germany, Europe, Northern Hemisphere, *Theoretical and Applied Climatology*. Berlin: Springer-Verlag 2008.
- KÜRBIS, K. (2009): Trends in extremes of temperature, dew point, and precipitation from long instrumental series from central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*. Berlin: Springer-Verlag 2009.
- MILLS, G. (2007): Cities as agents of global change. *International Journal of Climatology*, Vol. 27, str. 1849–1857
- MILLS, G. (2004): The Urban Canopy Layer Heat Island. *IAUC Teaching Resources*. [online]. Aktualizace 2004. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.urban-climate.org>>.
- NOSEK, M (1972): *Metody v klimatologii*, Praha: Academia, 1972, 434 s.
- OKE, T. R. (1973): City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* **7**: 769–779.
- PETERSON, T. C. (2003). Assessment of Urban Versus Rural *in situ* Surface Temperatures in the Contiguous United States: No Difference Found. *Journal of Climate*, Vol. 16(18), s. 2941–2959.
- PETERSON, T. C. (2006) Examination of potential biases in air temperature caused by poor station locations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 87, s. 1073–1089
- STRUMPF, T., BUCHHORN, R. (2006): Versuchswesen der BBA Berlin Dahlem, Kurzbericht 2006. Berlin: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft.
- ŠANDOVÁ, M. (2007): Anomálie teploty vzduchu na území ČR v období 1961–1990. Bakalářská práce. Přf UK. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha. 60 s.
- STIEBLINGOVÁ, D. (2004): *Teplotní poměry v Praze v období 1961–2006*. Magisterská práce. Přf UK. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha. 76 s.



ŠTĚPÁNEK, P. (2005): *Variabilita teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových měření*. Disertační práce. PřF MU, Brno. 137 s.

TRIGO, R. M., OSBORN, T. J., CORTE-REAL, J. M. (2002): The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate research*, Vol. 20.

TRUSILOVA, K. et al. (2008): Urbanization Impacts on the Climate in Europe: Numerical Experiments by the PSU-NCAR Mesoscale Model (MM5). *Journal of applied meteorology and klimatology*, Vol. 47. s. 1442–1455

VISBECK, M. H. (2001): The North Atlantic Oscillation: Past, present, and future, *PNAS*, Vol. 98, s. 12876–12877

## 7.2 Internetové a další zdroje

### 7.2.1 Internetové zdroje

*Encyklopedia Britannica*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.britannica.com/>>.

*Ernst BASLER + PARTNER* (2008): NEURUPPINSTRATEGIE 2020 – Gesamtkonzept [Integriertes Stadtentwicklungskonzept und Standortentwicklungskonzept]. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <[http://www.neuruppin.de/neuruppin.de/data/media/\\_stories/2436/2008\\_04\\_30\\_npstrategie\\_beschluss.pdf](http://www.neuruppin.de/neuruppin.de/data/media/_stories/2436/2008_04_30_npstrategie_beschluss.pdf)>.

HUGHES, W. (2008): Some thoughts on UHI's and rural stations (adapted from an essay by P. M. Pollock). [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.warwickhughes.com/hoyt/uhi.htm>>.

Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin (2000–2007): *Rekordtafeln der täglichen Extremtemperaturen von Berlin-Dahlem*. [online]. Aktualizace 2008. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.met.fu-berlin.de/~stefan/extrem1.htm>>.

LDEO Columbia (2009): *North Atlantic Oscillation*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>>.

POPELKA, J. (2008): *Informace pro studenty kurzů Statistika, Výpočetní technika a Základy výpočetní techniky – powerpointové presentace Statistika2008\_6.ppt a Statistika2008\_7.ppt* [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://most.ujep.cz/~popelka/dokumenty.htm>>

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2009): *Geoinformation*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/>>.

U.S. Environmental Protection Agency (2009): *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>>.

VOOGT, J. A., (2004): Urban Heat Islands: Hotter Cities, *Action Bioscience*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>>.

*Wikipedia, die freie Enzyklopädie*. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-6-25]. Dostupné z: <<http://de.wikipedia.org/>>.

### 7.2.2 Zdroje dat

**NAO index data:** Climate Analysis Section, NCAR, Boulder, USA, HURRELL, J. (1995). [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2009-3-25]. Dostupné z: <<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>>.

**teplotní data z německých stanic:** Deutscher Wetterdienst. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2008-11-3]. Dostupné z: <<http://www.dwd.de>>.

**teplotní data z českých stanic:** z let 1961–1998 na požádání poskytl Český hydrometeorologický ústav, měsíční hodnoty z let 1998–2008 volně dostupné na: Český hydrometeorologický ústav. [online]. Aktualizace 2009. [cit. 2008-11-3]. Dostupné z: <<http://www.chmi.cz>>.

# SEZNAM GRAFŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

<b>Obr. 1:</b> Větrné podmínky v Berlíně.....	8
<b>Obr. 2:</b> Klimadiagram – Berlín-Tempelhof, 1961–1990.....	8
<b>Obr. 3:</b> Klimadiagram – Postupim, 1961–1990.....	9
<b>Obr. 4:</b> Klimadiagram – Neuruppin, 1961–1990.....	9
<b>Obr. 5:</b> Klimadiagram – Praha, Karlov, 1961–1990.....	11
<b>Obr. 6:</b> Klimadiagram – Praha, Ruzyně, 1961–1990 .....	11
<b>Obr. 7:</b> Průměrná min. teplota v listopadu 1981 v Mexico City.....	13
<b>Obr. 8:</b> Schematický náčrt stavby městské atmosféry.....	13
<b>Obr. 9:</b> Vývoj intenzity městského tepelného ostrova během dne .....	14
<b>Obr. 10:</b> Horká vlna v Evropě v roce 2003.....	15
<b>Tab. 1:</b> Poloha všech použitých stanic.....	18
<b>Tab. 2:</b> Poloha měřicích stanic, dlouhodobé teplotní průměry 1961–1990 a průměrná rychlost větru.....	19
<b>Graf 1:</b> Lineární trendy zimních teplot 1962–2008.....	19
<b>Tab. 3:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 1.....	20
<b>Graf 2:</b> Lineární trendy jarních teplot 1961–2008.....	20
<b>Tab. 4:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 2.....	21
<b>Graf 3:</b> Lineární trendy letních teplot 1961–2008.....	21
<b>Tab. 5:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 3.....	22
<b>Graf 4:</b> Lineární trendy podzimních teplot 1961–2008 .....	22
<b>Tab. 6:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 4.....	23
<b>Graf 5:</b> Lineární trendy teplot „chladného půlroku“ 1962–2008.....	23
<b>Tab. 7:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 5.....	24
<b>Graf 6:</b> Lineární trendy teplot „teplého půlroku“ 1962–2008 .....	24
<b>Tab. 8:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 6.....	25
<b>Graf 7:</b> Intenzita pražského tepelného ostrova .....	26
<b>Graf 8:</b> Intenzita berlínského tepelného ostrova .....	27
<b>Graf 9:</b> Lineární trendy intenzity pražského tep. ostrova za roční období 1962–2008.....	28
<b>Tab. 9:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 9.....	28
<b>Graf 10:</b> Lineární trendy intenzity berlínského tep. ostrova za roční období 1962–2008 .....	29
<b>Tab. 10:</b> Vlastnosti regresních přímek z Grafu 10.....	29

<b>Graf 11:</b> Vývoj intenzity městského tepelného ostrova v Praze a Berlíně v chladném období (říjen–březen) 1962–2008 .....	30
<b>Tab. 11:</b> Vlastnosti regresních přímk z Grafu 11 .....	30
<b>Graf 12:</b> Vývoj intenzity městského tepelného ostrova v Praze a Berlíně v teplém období (duben–září) 1962–2008 .....	31
<b>Tab. 12:</b> Vlastnosti regresních přímk z Grafu 12 .....	31
<b>Graf 13:</b> Vývoj intenzity Berlína vůči Postupimi a Neuruppinu .....	32
<b>Obr. 11:</b> Povrchová teplota v Berlíně při přeletu v 15 hodin 20. července 1998, vlevo ve výřezu letiště Tempelhof, červená hvězdička označuje polohu meteostanice .....	35
<b>Obr. 12:</b> Příklad zelené střechy .....	36
<b>Graf 14:</b> Rozdíl teploty mezi Karlovem a Ruzyní (po přepočtení na stejnou nadmořskou výšku) v letech 1962–2008 a v letech 1999–2008 .....	37
<b>Graf 15:</b> Zimní index NAO 1962–2002, rozdíl tlaků při hladině moře – Ponta Delgada (Azory) a Reykjavik (Island) .....	39
<b>Tab. 13:</b> Korelace průměrných teplot pro roční období (1962–2002) s indexem NAO .....	40
<b>Obr. 13:</b> Situace při kladném indexu NAO .....	40
<b>Obr. 14:</b> Odchylka Tmax (°C) pro zimní měsíce v závislosti na indexu NAO .....	41
<b>Obr. 15:</b> Odchylka Tmin (°C) pro zimní měsíce v závislosti na indexu NAO .....	41
<b>Obr. 16:</b> Odchylka v oblačnosti v zimních měsících. v závislosti na indexu NAO .....	41
<b>Obr.17:</b> Změny v povrchových teplotách pevniny a mořské hladiny v zimních měsících v závislosti na indexu NAO v letech 1935–1999 .....	42
<b>Obr. 18:</b> Korelace průměrné zimní teploty (prosinec–březen) a indexu NAO .....	43
<b>Obr. 19:</b> Isotermy v Chapultepec Park v Mexiko City 3. prosince 1970 .....	45

# PŘÍLOHY

## Seznam příloh

**Příloha 1:** Poloha použitých měřicích stanic

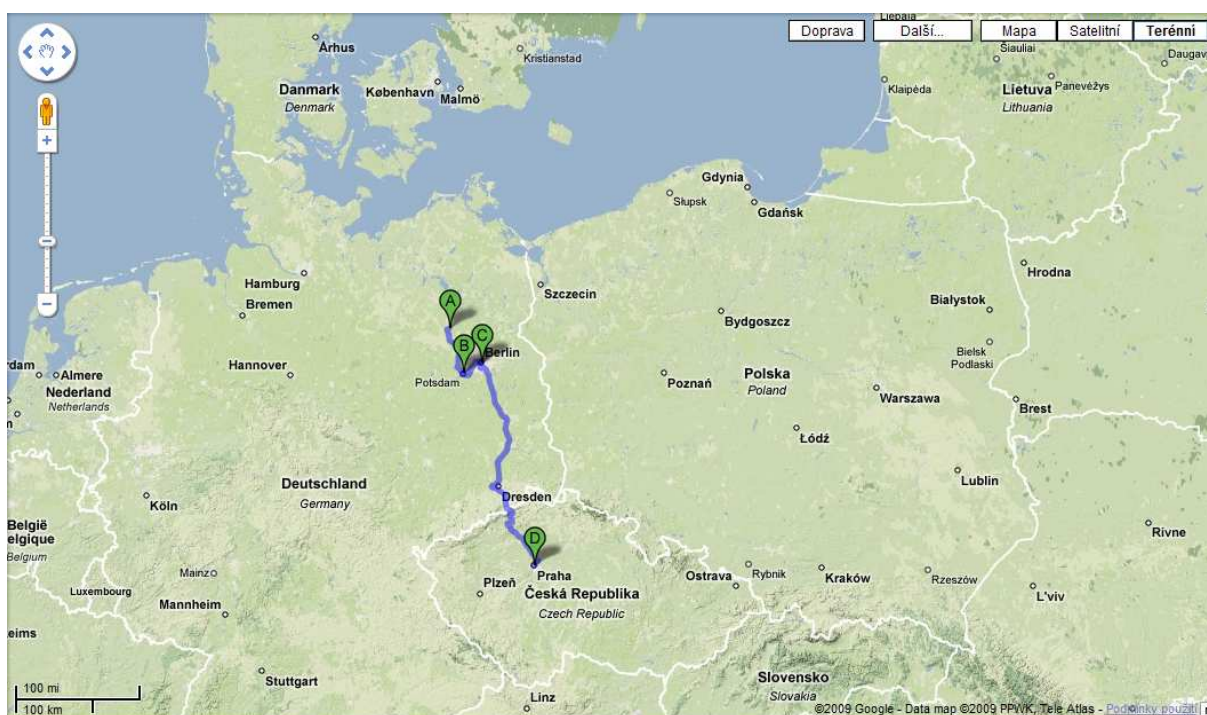
**Příloha 2:** Měsíční průměrné teploty na sledovaných stanicích za období 1961–2008

**Příloha 3:** Vývoj intenzity městských tepelných ostrovů (ve °C) podle jednotlivých ročních období v jednotlivých letech (1961–2008)

**Příloha 4:** Výsledky testování homogenity dat pomocí metody podvojně součtové čáry

**Příloha 5:** CD s elektronickou verzí práce

**Příloha 1:** Poloha použitých měřicích stanic (A – Neuruppin, B – Postupim, C – Berlín, D – Praha) (zdroj: <http://www.google.cz/maps>)



**Příloha 2: Měsíční průměrné teploty na sledovaných stanicích za období 1961–2008 (zdroj DWD a ČHMÚ)**

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1961	I	−1,0	−1,5	−1,1	−1,4	−2,9
1961	II	4,9	4,6	4,0	4,0	2,6
1961	III	7,0	6,6	6,1	7,5	6,1
1961	IV	11,6	11,1	10,5	12,9	11,5
1961	V	11,5	11,0	10,9	11,8	10,7
1961	VI	18,5	17,7	17,5	18,1	16,8
1961	VII	16,7	16,1	15,7	17,4	16,2
1961	VIII	16,9	16,2	15,8	17,5	16,4
1961	IX	17,0	16,4	16,1	17,0	16,0
1961	X	12,0	11,2	11,3	11,0	9,9
1961	XI	4,6	4,0	4,3	3,9	2,5
1961	XII	−1,3	−1,9	−1,5	−1,1	−2,6
1962	I	2,4	2,0	2,1	1,3	−0,2
1962	II	1,0	0,6	0,8	0,1	−1,2
1962	III	1,1	0,6	0,3	1,0	−0,5
1962	IV	10,1	9,5	8,8	10,7	9,5
1962	V	11,3	10,6	10,2	11,7	10,5
1962	VI	15,6	15,1	14,6	16,3	14,9
1962	VII	16,2	15,4	15,1	17,0	15,9
1962	VIII	16,6	15,9	15,5	18,7	17,6
1962	IX	12,9	12,3	12,2	14,1	13,0
1962	X	10,0	9,5	9,5	9,0	8,0
1962	XI	4,1	3,3	3,7	3,8	2,6
1962	XII	−2,8	−3,4	−3,0	−3,9	−5,1
1963	I	−7,3	−8,3	−8,0	−6,9	−8,5
1963	II	−4,5	−5,4	−6,5	−5,1	−6,7
1963	III	3,1	2,7	1,3	3,1	1,6
1963	IV	9,3	8,7	7,8	10,0	8,9
1963	V	14,4	13,6	13,4	13,9	12,9
1963	VI	18,5	17,6	17,2	17,9	16,7
1963	VII	20,5	19,4	18,7	20,4	19,1
1963	VIII	18,4	17,4	17,2	18,5	17,4
1963	IX	15,6	14,7	14,2	15,6	14,5
1963	X	9,5	8,9	8,8	9,4	8,2
1963	XI	8,1	7,7	7,5	8,1	6,7
1963	XII	−2,6	−3,3	−2,7	−3,8	−5,4
1964	I	−1,8	−2,7	−2,7	−4,2	−5,6
1964	II	0,2	−0,6	−0,2	−0,4	−1,9
1964	III	0,4	−0,1	−0,5	0,6	−0,7
1964	IV	9,8	9,2	8,7	10,3	9,0
1964	V	14,9	14,3	13,6	15,4	14,3
1964	VI	19,5	18,7	18,1	19,9	18,7
1964	VII	19,7	19,1	18,5	20,5	19,3
1964	VIII	17,0	16,4	16,2	17,2	16,2
1964	IX	14,8	14,2	13,7	14,8	13,6
1964	X	8,2	7,4	7,7	8,3	7,2
1964	XI	5,5	4,9	5,2	5,3	3,9
1964	XII	1,5	0,8	1,2	0,5	−1,0
1965	I	1,8	1,3	1,3	1,7	0,3

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1965	II	−0,9	−1,3	−1,5	−2,0	−3,5
1965	III	2,6	2,0	1,2	2,4	0,8
1965	IV	8,2	7,3	6,9	8,2	6,9
1965	V	12,4	11,9	11,6	12,1	10,9
1965	VI	17,5	17,0	16,5	17,3	16,0
1965	VII	16,4	15,7	15,3	17,6	16,1
1965	VIII	16,9	16,1	15,5	17,2	15,9
1965	IX	14,9	14,2	14,2	14,1	12,9
1965	X	9,3	8,6	8,5	8,0	7,0
1965	XI	0,9	0,4	0,4	1,4	0,0
1965	XII	2,8	2,3	2,1	3,3	1,8
1966	I	−2,7	−3,4	−2,9	−3,4	−4,7
1966	II	1,5	1,1	0,1	5,0	3,4
1966	III	4,2	3,7	3,5	4,3	3,0
1966	IV	9,6	9,1	7,9	11,1	9,9
1966	V	14,9	14,3	13,7	14,6	13,6
1966	VI	19,1	18,7	18,4	18,5	17,5
1966	VII	17,9	17,2	17,1	17,8	16,7
1966	VIII	17,6	16,7	16,7	17,2	16,1
1966	IX	13,9	13,2	12,8	14,3	13,1
1966	X	12,0	11,5	11,2	12,7	11,5
1966	XI	3,2	2,5	2,8	3,3	1,8
1966	XII	2,5	2,0	2,1	2,1	0,7
1967	I	0,7	0,3	0,3	−0,4	−1,8
1967	II	3,4	2,8	2,8	3,0	1,6
1967	III	6,6	6,1	5,8	6,2	4,7
1967	IV	7,7	7,0	6,7	8,4	7,0
1967	V	14,8	13,9	13,7	14,3	13,3
1967	VI	16,7	15,7	15,6	17,1	15,4
1967	VII	20,8	19,6	19,2	20,8	19,7
1967	VIII	18,3	17,2	17,3	18,4	17,0
1967	IX	15,9	15,1	15,2	15,4	14,3
1967	X	12,2	11,7	11,3	12,3	11,0
1967	XI	5,0	4,3	4,5	4,0	2,7
1967	XII	1,5	0,8	1,0	0,6	−0,8
1968	I	−0,8	−1,1	−1,3	−1,5	−2,8
1968	II	1,0	0,4	0,5	1,5	0,0
1968	III	5,5	4,8	4,4	5,6	4,1
1968	IV	11,1	10,2	9,4	10,5	9,4
1968	V	12,2	11,4	11,1	12,8	11,6
1968	VI	19,0	18,1	17,4	18,3	16,9
1968	VII	18,3	17,3	16,7	18,4	17,1
1968	VIII	19,0	18,2	17,9	17,6	16,6
1968	IX	14,9	14,1	14,4	14,4	13,3
1968	X	10,8	10,3	10,2	10,5	9,3
1968	XI	4,7	3,8	4,3	4,2	2,9
1968	XII	−1,8	−2,6	−2,2	−1,8	−3,3
1969	I	−0,8	−1,1	−1,6	−1,0	−2,1
1969	II	−2,2	−2,7	−3,1	−1,4	−2,8

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1969	III	0,1	−0,4	−1,1	1,4	0,1
1969	IV	8,2	7,3	6,8	8,6	7,3
1969	V	14,6	13,8	13,1	16,2	15,2
1969	VI	17,4	16,4	16,1	16,9	15,7
1969	VII	20,9	19,7	19,1	20,4	19,2
1969	VIII	18,6	17,5	17,6	17,8	16,6
1969	IX	15,5	14,5	14,5	15,2	14,2
1969	X	11,1	10,6	10,1	9,9	9,0
1969	XI	6,3	5,5	5,6	6,0	4,7
1969	XII	−5,5	−6,2	−6,1	−5,3	−6,8
1970	I	−4,1	−4,7	−4,9	−2,5	−3,7
1970	II	−1,5	−2,2	−2,7	−0,5	−1,8
1970	III	1,7	1,1	0,6	2,4	0,9
1970	IV	6,5	5,8	5,3	7,4	6,0
1970	V	13,3	12,5	12,1	12,7	11,4
1970	VI	19,7	18,6	18,1	18,6	17,2
1970	VII	18,1	17,2	16,8	19,1	17,8
1970	VIII	19,5	18,1	18,0	18,2	17,1
1970	IX	14,1	13,1	13,1	14,2	13,0
1970	X	9,9	9,2	9,4	9,2	7,9
1970	XI	6,1	5,4	5,5	6,4	5,0
1970	XII	2,0	1,2	1,7	0,7	−0,8
1971	I	−0,6	−1,5	−1,7	−2,7	−4,4
1971	II	2,5	1,8	2,0	1,9	0,4
1971	III	2,4	1,8	1,2	1,9	0,3
1971	IV	8,6	8,2	7,4	10,1	8,7
1971	V	15,9	15,3	14,5	15,4	14,2
1971	VI	15,5	14,9	14,8	15,4	14,3
1971	VII	20,2	19,4	18,6	20,3	18,9
1971	VIII	20,7	19,5	19,3	20,8	19,4
1971	IX	13,4	12,5	12,5	12,9	11,6
1971	X	10,3	9,6	9,4	9,3	8,0
1971	XI	4,8	4,1	4,1	4,1	2,7
1971	XII	5,0	4,3	4,6	4,2	2,9
1972	I	−3,4	−3,7	−3,7	−2,3	−3,6
1972	II	2,1	1,8	0,7	2,2	0,9
1972	III	6,2	5,7	4,9	6,7	5,3
1972	IV	8,7	8,2	7,6	8,8	7,5
1972	V	12,8	12,4	11,8	13,7	12,6
1972	VI	16,9	16,1	15,7	17,4	16,0
1972	VII	20,2	19,4	18,8	20,1	18,9
1972	VIII	17,4	16,5	16,5	18,0	16,6
1972	IX	12,4	11,6	11,6	12,2	10,9
1972	X	7,9	7,0	7,2	7,1	5,8

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1972	XI	5,5	4,8	5,0	5,2	3,8
1972	XII	1,6	0,7	1,1	0,2	−1,1
1973	I	0,5	−0,1	−0,3	−0,2	−1,4
1973	II	2,9	2,1	2,3	1,9	0,4
1973	III	6,0	5,3	4,6	5,6	3,9
1973	IV	6,6	5,8	5,6	6,8	5,4
1973	V	13,7	12,9	12,5	14,5	13,3
1973	VI	17,9	17,4	16,9	17,8	16,4
1973	VII	19,6	18,7	18,6	18,8	17,6
1973	VIII	19,0	18,0	17,8	19,7	18,5
1973	IX	14,9	14,3	14,0	16,3	14,9
1973	X	8,2	7,6	7,7	8,1	6,9
1973	XI	3,9	3,3	3,3	3,2	1,8
1973	XII	0,8	0,2	0,4	0,2	−1,2
1974	I	3,7	3,3	2,9	3,0	1,7
1974	II	4,0	3,3	3,2	3,8	2,4
1974	III	6,3	6,0	4,9	7,7	6,2
1974	IV	9,1	8,8	8,0	9,7	8,3
1974	V	12,4	11,9	11,5	13,2	11,9
1974	VI	15,8	14,9	14,6	15,4	14,3
1974	VII	16,7	15,9	15,6	17,2	15,9
1974	VIII	19,1	18,0	17,9	19,5	18,3
1974	IX	14,8	14,0	14,1	14,8	13,4
1974	X	7,3	6,4	6,8	6,1	4,9
1974	XI	6,0	5,4	5,3	4,5	3,1
1974	XII	5,6	5,0	5,2	5,2	3,6
1975	I	5,4	4,8	4,9	3,9	2,4
1975	II	1,7	1,1	0,9	0,7	−1,0
1975	III	4,7	4,2	3,7	4,9	3,7
1975	IV	7,9	7,2	6,5	8,6	7,1
1975	V	13,7	13,1	12,2	14,1	12,3
1975	VI	17,1	16,4	15,6	16,6	15,2
1975	VII	20,7	19,8	19,3	20,1	18,5
1975	VIII	20,9	19,9	19,9	20,3	19,0
1975	IX	17,2	16,6	16,1	17,9	16,4
1975	X	8,3	7,8	8,1	8,2	6,8
1975	XI	3,2	2,5	2,9	3,2	1,7
1975	XII	3,0	2,4	2,6	1,4	0,1
1976	I	0,8	0,3	0,5	1,4	−0,2
1976	II	0,3	0,1	−0,9	0,8	−0,4
1976	III	1,5	1,0	0,6	1,7	−0,2
1976	IV	8,1	7,7	6,9	9,0	7,5
1976	V	14,0	13,4	12,6	14,8	13,6
1976	VI	18,6	18,1	17,2	19,0	17,7

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1976	VII	21,0	20,4	19,6	21,1	19,9
1976	VIII	18,2	17,3	16,8	17,6	16,2
1976	IX	14,1	13,4	13,0	13,9	12,3
1976	X	9,7	9,3	9,0	10,8	9,4
1976	XI	5,9	5,2	5,0	5,8	4,2
1976	XII	0,0	-0,7	-0,5	-0,6	-2,2
1977	I	0,9	0,1	-0,3	-0,3	-1,8
1977	II	3,0	2,4	1,7	2,6	1,2
1977	III	6,6	6,3	5,7	7,5	5,5
1977	IV	6,8	6,1	5,6	7,3	5,7
1977	V	13,4	12,8	12,3	14,0	12,3
1977	VI	17,9	17,1	16,7	17,8	16,1
1977	VII	17,6	16,9	16,5	18,4	16,2
1977	VIII	17,4	16,8	16,6	17,7	16,1
1977	IX	12,7	12,0	12,3	12,8	11,3
1977	X	10,8	10,3	9,9	10,1	8,5
1977	XI	6,5	5,8	5,9	5,8	4,5
1977	XII	3,1	2,4	2,9	1,0	-0,4
1978	I	1,7	1,1	1,3	1,1	-0,5
1978	II	-0,5	-1,1	-1,6	-1,4	-3,2
1978	III	6,1	5,4	4,8	5,9	4,2
1978	IV	7,9	7,4	6,5	8,6	6,9
1978	V	13,7	13,1	13,0	12,9	11,4
1978	VI	17,1	16,1	15,8	16,5	14,6
1978	VII	17,6	16,7	16,0	17,4	15,6
1978	VIII	17,2	16,2	16,1	16,8	15,1
1978	IX	12,7	12,1	12,0	13,5	12,1
1978	X	10,5	9,9	9,9	9,5	8,1
1978	XI	5,8	5,2	5,6	4,1	2,8
1978	XII	-0,5	-1,0	-0,8	1,6	0,2
1979	I	-3,6	-4,1	-4,8	-4,2	-5,8
1979	II	-2,6	-3,0	-3,9	0,1	-1,8
1979	III	3,7	3,1	2,3	5,2	3,7
1979	IV	7,9	7,3	7,0	8,2	6,3
1979	V	14,6	13,8	13,2	15,3	13,4
1979	VI	19,1	18,2	17,8	20,1	18,2
1979	VII	16,2	15,2	15,1	16,6	14,7
1979	VIII	17,9	16,9	17,0	17,9	16,0
1979	IX	14,7	13,7	13,8	14,4	12,7
1979	X	8,3	7,6	8,0	8,2	6,2
1979	XI	4,6	3,8	3,8	4,5	2,9
1979	XII	4,2	3,6	3,6	4,6	3,1
1980	I	-3,6	-3,9	-4,4	-3,4	-5,4
1980	II	1,3	0,8	0,2	2,7	1,0

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1980	III	2,6	2,3	1,4	3,8	2,1
1980	IV	7,2	6,5	6,3	6,7	5,1
1980	V	11,8	11,4	10,9	11,9	9,8
1980	VI	16,7	15,9	15,7	16,8	14,8
1980	VII	16,8	16,1	16,1	16,4	14,9
1980	VIII	17,5	16,8	16,6	18,4	16,6
1980	IX	14,7	14,0	13,7	14,0	12,5
1980	X	9,3	8,6	8,6	9,0	7,3
1980	XI	4,0	3,4	4,0	3,4	1,8
1980	XII	2,0	1,3	1,4	0,9	-0,8
1981	I	-0,5	-1,1	-1,3	-2,1	-3,7
1981	II	1,0	0,4	0,6	0,7	-1,0
1981	III	7,2	6,6	5,7	8,1	6,5
1981	IV	8,6	7,9	7,3	8,9	7,1
1981	V	15,6	14,7	14,6	14,9	13,3
1981	VI	17,3	16,6	16,3	18,2	16,4
1981	VII	18,4	17,3	17,4	18,1	16,5
1981	VIII	17,6	16,7	16,9	18,6	16,5
1981	IX	15,5	14,4	14,3	15,4	13,9
1981	X	9,3	8,6	8,2	9,6	8,1
1981	XI	5,3	4,7	4,9	5,3	3,8
1981	XII	-2,4	-3,2	-3,5	-1,7	-3,5
1982	I	-2,2	-2,8	-3,3	-4,1	-5,7
1982	II	0,2	-0,2	-0,8	-0,2	-1,8
1982	III	5,7	4,8	4,4	5,8	3,9
1982	IV	8,0	7,3	6,9	7,7	5,8
1982	V	14,4	13,5	13,0	15,2	13,4
1982	VI	17,8	17,2	16,4	18,9	16,8
1982	VII	21,1	20,3	19,4	21,0	19,0
1982	VIII	20,4	19,0	18,4	19,4	17,7
1982	IX	17,8	17,0	16,0	17,7	15,9
1982	X	11,1	10,4	10,5	10,6	9,1
1982	XI	6,9	6,0	6,2	5,5	3,9
1982	XII	3,0	2,3	2,4	2,8	1,3
1983	I	5,2	4,5	4,7	4,4	2,8
1983	II	-0,4	-1,3	-1,1	-1,5	-3,7
1983	III	5,7	5,0	5,0	5,7	3,8
1983	IV	9,8	9,3	8,7	10,9	9,4
1983	V	13,7	13,0	12,9	14,5	12,7
1983	VI	18,1	17,4	16,7	18,2	16,2
1983	VII	22,2	21,5	20,6	23,0	20,8
1983	VIII	19,9	19,0	19,1	19,8	17,8
1983	IX	15,2	14,3	14,5	15,2	13,5
1983	X	10,2	9,5	9,6	10,7	8,8



rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1983	XI	4,8	4,1	4,2	3,2	1,7
1983	XII	1,1	0,2	0,3	0,3	-1,4
1984	I	1,9	1,2	1,3	1,2	-0,7
1984	II	0,5	-0,2	-0,1	0,3	-1,8
1984	III	2,9	2,3	2,1	3,5	1,6
1984	IV	8,9	8,3	7,5	8,5	6,6
1984	V	13,7	13,0	12,6	13,2	11,6
1984	VI	15,0	14,3	13,8	16,0	14,1
1984	VII	17,0	16,0	15,6	17,5	15,8
1984	VIII	19,3	18,2	18,0	18,7	16,7
1984	IX	13,6	12,9	12,7	13,5	11,9
1984	X	11,3	10,6	10,7	11,1	9,4
1984	XI	4,6	4,0	4,2	5,3	3,7
1984	XII	0,7	0,1	0,6	0,8	-0,5
1985	I	-5,0	-5,6	-5,6	-5,7	-7,6
1985	II	-2,8	-3,3	-3,1	-3,3	-5,0
1985	III	4,0	3,3	2,9	4,1	2,4
1985	IV	8,9	8,2	7,8	9,3	7,7
1985	V	15,7	15,2	14,3	15,5	13,9
1985	VI	15,3	14,5	14,3	15,2	13,5
1985	VII	19,0	18,1	17,6	19,5	17,6
1985	VIII	18,5	17,4	17,2	18,9	17,1
1985	IX	14,3	13,6	13,5	15,1	13,3
1985	X	9,9	9,4	9,6	9,5	7,7
1985	XI	2,0	1,5	1,5	1,6	0,1
1985	XII	4,5	3,8	3,6	4,3	2,9
1986	I	0,6	-0,2	-0,1	0,6	-0,9
1986	II	-6,5	-7,0	-7,2	-5,6	-7,8
1986	III	3,8	3,2	2,4	4,5	2,8
1986	IV	7,4	7,0	6,5	10,1	8,2
1986	V	16,0	15,3	14,8	16,9	14,9
1986	VI	17,5	17,0	16,4	17,8	15,8
1986	VII	19,4	18,5	17,8	19,0	17,0
1986	VIII	18,2	17,1	16,8	18,5	16,9
1986	IX	12,4	11,6	11,6	13,4	11,5
1986	X	10,3	9,5	9,7	10,2	8,6
1986	XI	7,1	6,4	6,6	5,6	4,0
1986	XII	2,5	1,8	2,3	1,9	0,4
1987	I	-6,9	-7,2	-6,6	-6,0	-7,8
1987	II	-0,3	-0,9	-1,3	-0,2	-2,0
1987	III	0,5	-0,2	-0,4	0,0	-2,2
1987	IV	10,0	9,6	8,9	10,7	8,8
1987	V	11,4	10,8	10,4	12,2	10,3
1987	VI	15,7	14,8	14,5	16,3	14,6

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1987	VII	18,5	17,9	17,3	19,4	17,3
1987	VIII	16,5	15,6	15,6	17,0	15,4
1987	IX	14,8	13,9	13,9	16,2	14,8
1987	X	10,0	9,2	9,6	10,1	8,4
1987	XI	6,2	5,5	6,0	5,5	3,9
1987	XII	2,7	2,0	2,3	2,4	0,9
1988	I	3,9	3,4	3,5	3,1	1,7
1988	II	3,2	2,5	2,8	2,7	1,2
1988	III	3,1	2,4	2,5	3,2	1,8
1988	IV	9,3	8,7	7,8	10,1	8,1
1988	V	16,3	15,6	14,8	16,3	14,5
1988	VI	16,8	16,1	15,5	17,1	15,2
1988	VII	19,1	18,2	17,9	19,4	17,5
1988	VIII	18,8	17,6	17,5	19,2	17,1
1988	IX	14,6	13,8	14,1	14,8	13,4
1988	X	10,3	9,6	9,8	10,5	8,8
1988	XI	3,4	2,9	3,2	2,0	0,4
1988	XII	3,7	3,1	3,6	3,3	1,8
1989	I	3,8	3,1	3,5	1,9	0,3
1989	II	4,6	3,9	4,2	4,2	2,7
1989	III	7,7	7,0	6,7	8,3	6,5
1989	IV	9,0	8,3	8,3	9,9	7,9
1989	V	15,8	15,1	14,5	15,6	13,5
1989	VI	17,7	16,8	16,7	17,2	15,0
1989	VII	19,4	18,7	18,4	19,7	17,6
1989	VIII	18,8	17,9	17,6	19,2	17,2
1989	IX	16,9	15,9	16,0	16,0	14,3
1989	X	11,9	11,1	11,1	11,2	9,7
1989	XI	3,3	2,5	3,2	2,6	0,7
1989	XII	3,0	2,3	2,3	2,3	0,6
1990	I	4,1	3,4	3,9	2,0	0,3
1990	II	6,8	6,3	5,9	6,1	4,5
1990	III	8,4	7,7	7,2	8,7	6,7
1990	IV	9,5	8,7	8,6	8,8	7,1
1990	V	15,8	14,9	14,7	16,1	13,9
1990	VI	17,1	16,4	16,2	17,9	16,2
1990	VII	18,2	17,6	17,1	19,3	17,2
1990	VIII	19,9	18,9	18,6	20,6	19,0
1990	IX	13,0	12,2	12,3	12,9	11,4
1990	X	10,9	10,2	10,5	10,5	8,6
1990	XI	5,4	4,8	5,3	5,2	3,7
1990	XII	1,2	0,7	1,1	0,9	-0,6
1991	I	2,5	1,9	2,0	2,0	0,5
1991	II	-2,2	-2,7	-3,0	-2,3	-4,3

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1991	III	6,9	6,7	5,6	6,9	5,2
1991	IV	8,5	8,0	7,8	8,5	7,0
1991	V	10,9	10,4	10,2	10,9	9,2
1991	VI	15,0	14,3	14,2	16,2	14,5
1991	VII	21,0	20,3	19,8	20,8	18,8
1991	VIII	19,4	18,3	18,0	19,3	17,5
1991	IX	16,4	15,5	14,9	16,1	14,6
1991	X	9,6	8,9	9,1	8,8	7,2
1991	XI	4,9	4,4	4,7	3,8	2,2
1991	XII	1,9	1,3	1,8	-0,1	-1,6
1992	I	1,6	1,1	1,5	1,9	0,6
1992	II	4,2	3,5	3,4	3,2	1,9
1992	III	5,5	5,0	4,9	5,0	3,7
1992	IV	9,3	8,7	8,5	9,6	7,9
1992	V	15,6	15,0	15,0	16,2	14,4
1992	VI	20,6	19,9	19,5	19,5	17,7
1992	VII	20,9	19,9	19,7	20,9	19,2
1992	VIII	21,0	20,1	19,2	22,5	20,8
1992	IX	14,4	13,6	13,8	15,5	13,8
1992	X	6,6	6,0	6,0	8,1	6,5
1992	XI	5,4	4,7	5,0	5,1	3,5
1992	XII	1,2	0,6	1,3	0,4	-0,9
1993	I	2,5	2,0	2,2	2,6	0,6
1993	II	0,5	-0,1	0,3	-1,8	-3,5
1993	III	4,6	4,0	3,7	4,1	2,3
1993	IV	11,6	11,1	10,4	11,6	10,1
1993	V	16,9	15,9	15,8	17,2	15,6
1993	VI	16,5	15,7	15,5	17,4	15,8
1993	VII	17,3	16,3	16,2	18,0	16,4
1993	VIII	17,0	16,0	15,8	18,8	16,7
1993	IX	13,2	12,3	12,6	13,9	12,2
1993	X	9,2	8,5	8,6	9,0	7,3
1993	XI	0,3	0,1	0,7	1,5	-0,1
1993	XII	3,7	3,1	3,3	4,1	2,7
1994	I	3,6	3,0	3,2	3,5	2,1
1994	II	-0,5	-0,9	-1,0	0,3	-1,3
1994	III	6,3	5,6	5,3	7,4	6,0
1994	IV	10,0	9,3	9,1	9,5	7,8
1994	V	13,9	13,2	13,4	14,3	12,7
1994	VI	17,0	15,9	16,0	18,5	16,2
1994	VII	23,7	22,3	22,8	23,7	21,8
1994	VIII	19,4	18,3	18,4	20,0	18,4
1994	IX	14,4	13,5	13,9	15,2	13,6
1994	X	8,2	7,4	7,5	7,7	6,3

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
1994	XI	7,0	6,6	6,8	7,3	5,8
1994	XII	4,0	3,5	3,7	3,0	1,8
1995	I	0,9	0,2	0,7	0,1	-1,5
1995	II	5,2	4,5	4,6	5,6	3,9
1995	III	4,2	3,5	3,6	4,0	2,4
1995	IV	9,1	8,8	8,4	10,0	8,5
1995	V	13,8	13,1	13,0	14,1	12,4
1995	VI	16,0	15,2	15,5	15,9	14,5
1995	VII	22,0	21,2	20,8	22,3	20,4
1995	VIII	20,6	19,5	19,7	19,6	17,9
1995	IX	14,3	13,5	13,6	13,9	12,5
1995	X	12,4	11,9	12,0	11,9	10,2
1995	XI	2,6	2,1	2,7	2,1	0,7
1995	XII	-2,8	-3,2	-3,1	-1,1	-2,7
1996	I	-4,0	-4,4	-3,8	-3,1	-4,5
1996	II	-2,5	-3,0	-3,2	-2,3	-3,9
1996	III	0,9	0,8	0,5	1,2	-0,4
1996	IV	10,3	9,8	8,9	10,2	8,5
1996	V	12,6	11,9	12,1	13,5	11,9
1996	VI	17,0	16,1	16,1	17,7	16,0
1996	VII	16,9	16,1	16,3	17,6	15,7
1996	VIII	19,1	18,3	18,9	18,4	16,7
1996	IX	11,9	11,3	11,8	11,4	10,0
1996	X	10,5	9,6	9,6	10,5	9,0
1996	XI	5,5	4,7	5,4	5,7	4,2
1996	XII	-2,4	-3,0	-2,4	-3,3	-5,2
1997	I	-2,1	-2,5	-2,9	-3,2	-4,6
1997	II	4,8	4,0	4,0	4,1	2,3
1997	III	5,9	5,3	5,1	6,0	4,6
1997	IV	7,2	6,6	6,6	6,8	5,3
1997	V	14,0	13,6	12,8	15,2	13,3
1997	VI	18,1	17,3	17,1	17,8	16,0
1997	VII	19,6	18,8	18,8	18,6	17,1
1997	VIII	22,4	21,1	21,3	20,8	18,9
1997	IX	15,2	14,5	14,1	15,1	13,5
1997	X	8,7	8,0	8,1	8,0	6,5
1997	XI	3,9	3,3	3,7	3,9	2,4
1997	XII	2,3	1,6	1,9	2,4	1,1
1998	I	3,2	2,7	2,5	2,0	0,4
1998	II	6,2	5,4	5,6	5,2	3,6
1998	III	5,2	4,6	4,8	5,4	3,9
1998	IV	10,9	10,1	9,9	11,6	10,0
1998	V	15,8	15,3	14,9	15,8	14,3
1998	VI	18,0	17,3	17,2	18,8	17,2

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlov	Ruzyně
1998	VII	18,0	17,0	16,8	18,7	17,0
1998	VIII	17,7	17,1	16,6	19,1	17,6
1998	IX	14,5	13,9	14,2	14,1	12,7
1998	X	9,0	8,3	8,8	9,8	8,5
1998	XI	1,7	1,3	1,6	2,0	0,6
1998	XII	1,0	0,5	0,6	0,9	−0,7
1999	I	3,2	2,8	2,9	1,8	0,5
1999	II	1,6	1,1	1,2	0,5	−1,3
1999	III	5,7	5,4	4,9	6,5	4,9
1999	IV	10,4	10,0	9,8	10,5	9,0
1999	V	14,9	14,2	13,9	15,6	14,2
1999	VI	17,2	16,3	16,2	16,9	15,3
1999	VII	21,4	20,6	20,4	20,8	18,8
1999	VIII	19,1	18,1	18,0	19,1	17,3
1999	IX	18,5	17,9	17,6	18,2	16,8
1999	X	10,1	9,5	9,8	10,0	8,4
1999	XI	4,3	3,7	4,3	3,7	2,1
1999	XII	2,8	2,3	2,7	2,3	0,7
2000	I	1,6	1,0	1,6	0,3	−1,1
2000	II	4,5	3,9	4,2	4,5	3,1
2000	III	5,6	5,2	5,2	5,4	4,1
2000	IV	12,1	11,1	11,0	12,9	11,0
2000	V	16,8	16,1	15,7	17,1	15,6
2000	VI	19,0	18,2	17,4	19,7	17,9
2000	VII	17,0	16,3	16,2	17,1	15,6
2000	VIII	18,8	18,1	17,5	20,8	19,0
2000	IX	14,5	13,9	14,1	14,9	13,5
2000	X	12,4	11,6	11,9	12,1	10,6
2000	XI	7,1	6,2	6,8	6,5	5,2
2000	XII	3,3	2,8	3,1	2,2	0,8
2001	I	1,2	0,6	1,0	0,1	−1,6
2001	II	2,0	1,7	1,5	2,7	0,9
2001	III	3,4	3,2	2,9	5,2	3,8
2001	IV	8,5	8,2	7,6	8,7	7,2
2001	V	15,1	15,0	14,6	16,3	14,4
2001	VI	15,2	14,8	14,6	16,1	14,3
2001	VII	20,4	19,7	19,5	19,9	18,3
2001	VIII	19,9	19,2	19,0	20,3	18,6
2001	IX	13,1	12,5	12,8	12,8	11,7
2001	X	13,1	12,5	12,7	13,0	11,8
2001	XI	4,5	4,0	4,4	3,6	2,3
2001	XII	0,1	−0,4	0,3	−1,0	−2,1
2002	I	2,2	1,6	2,0	1,1	0,1
2002	II	5,5	5,1	5,0	5,6	4,3

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlov	Ruzyně
2002	III	5,7	5,5	5,1	6,2	4,6
2002	IV	8,8	8,5	8,4	9,6	8,2
2002	V	15,8	15,3	15,0	17,3	15,4
2002	VI	18,0	17,4	17,4	19,4	17,6
2002	VII	19,6	18,7	18,6	20,3	18,8
2002	VIII	21,2	20,5	20,8	20,7	19,3
2002	IX	15,2	14,5	14,7	14,2	12,7
2002	X	8,4	8,0	8,1	8,8	7,7
2002	XI	4,4	3,9	4,3	5,6	4,3
2002	XII	−2,0	−2,2	−1,5	−0,9	−2,0
2003	I	0,0	−0,4	−0,5	0,0	−1,6
2003	II	−1,6	−2,1	−1,9	−1,5	−3,4
2003	III	4,9	4,6	4,3	6,5	4,6
2003	IV	9,2	9,1	8,7	9,8	8,1
2003	V	15,8	15,3	15,0	17,0	15,3
2003	VI	20,0	19,4	19,1	21,7	20,1
2003	VII	20,6	20,2	19,9	20,7	19,1
2003	VIII	21,1	20,7	20,1	22,7	21,1
2003	IX	15,6	15,2	14,7	15,8	14,3
2003	X	6,6	6,1	6,4	7,2	5,5
2003	XI	6,5	6,1	6,4	6,2	4,5
2003	XII	2,8	2,2	2,7	1,6	−0,1
2004	I	−1,2	−1,5	−1,1	−1,8	−3,4
2004	II	3,0	2,6	2,7	3,3	1,8
2004	III	5,4	5,0	4,8	5,1	3,6
2004	IV	10,2	10,1	9,6	11,1	9,5
2004	V	13,1	12,8	12,6	13,6	11,9
2004	VI	16,3	15,7	15,4	17,6	15,8
2004	VII	18,1	17,4	17,1	19,8	17,7
2004	VIII	20,2	19,5	19,3	20,8	19,1
2004	IX	15,0	14,5	14,3	15,7	14,0
2004	X	10,7	10,0	9,9	11,1	9,5
2004	XI	4,9	4,4	4,4	5,4	3,7
2004	XII	2,5	1,9	2,4	1,4	0,0
2005	I	3,2	2,7	2,7	2,4	0,8
2005	II	−0,3	−0,6	−0,2	−1,1	−3,1
2005	III	3,6	3,5	3,3	4,1	2,0
2005	IV	10,4	10,3	9,4	11,8	10,1
2005	V	14,1	13,5	13,1	15,4	14,0
2005	VI	17,2	16,5	16,1	18,5	16,5
2005	VII	19,4	18,7	18,6	20,0	18,5
2005	VIII	17,2	16,5	16,4	18,1	16,6
2005	IX	16,3	15,7	15,6	16,7	15,0
2005	X	11,8	11,1	11,3	11,7	9,9

rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně
2005	XI	5,0	4,5	4,6	4,1	2,6
2005	XII	1,5	1,1	1,3	1,1	-0,4
2006	I	-3,7	-3,8	-3,6	-3,7	-5,3
2006	II	0,1	-0,3	-0,4	-0,2	-2,0
2006	III	1,7	1,3	0,5	2,8	1,2
2006	IV	9,3	8,7	8,2	10,3	8,9
2006	V	14,4	14,0	13,5	15,2	13,5
2006	VI	18,8	18,1	17,5	19,5	17,7
2006	VII	24,4	23,6	23,0	24,7	22,4
2006	VIII	17,7	16,9	17,1	17,4	15,8
2006	IX	18,5	17,9	17,6	18,6	16,7
2006	X	12,8	12,3	12,6	12,4	10,8
2006	XI	7,9	7,4	7,4	7,5	6,0
2006	XII	5,7	5,2	5,4	3,9	3,3
2007	I	5,5	5,0	5,0	4,9	4,2
2007	II	3,6	3,6	3,1	4,4	3,7
2007	III	7,8	7,4	7,0	7,4	5,9
2007	IV	12,1	12,1	11,1	13,2	11,7
2007	V	15,9	15,5	15,0	16,6	15,1
2007	VI	19,1	18,8	18,1	20,3	18,6
2007	VII	18,8	18,1	17,7	20,2	18,7
2007	VIII	18,7	18,0	17,8	19,4	18,3
2007	IX	13,8	13,3	13,2	13,0	12,4
2007	X	8,8	8,4	8,5	9,0	8,1
2007	XI	4,1	3,7	3,9	2,8	2,1
2007	XII	2,4	2,0	2,4	0,9	0,2
2008	I	4,0	3,6	3,6	3,1	2,2
2008	II	5,1	4,6	4,3	4,4	3,5
2008	III	4,9	4,7	4,5	5,5	3,7
2008	IV	8,9	8,7	8,2	10,1	8,2
2008	V	15,6	15,8	14,9	16,1	14,1
2008	VI	19,2	18,5	17,6	20,1	17,7
2008	VII	20,1	19,1	18,8	20,4	18,5
2008	VIII	19,1	18,3	17,9	20,3	18,2
2008	IX	13,9	13,3	13,5	14,5	12,7
2008	X	10,0	9,4	9,5	10,2	8,6
2008	XI	6,0	5,5	5,7	5,9	4,6
2008	XII	2,0	1,4	1,9	2,7	1,0
rok	měsíc	Berlin	Postupim	Neuruppin	Karlovy	Ruzyně

**Příloha 3:** Vývoj intenzity městských tepelných ostrovů ( ve °C) podle jednotlivých ročních období v jednotlivých letech (1961–2008) modře – vyšší než průměr, červeně – nižší než průměr

Praha	zima	jaro	léto	podzim	rok
1961		0,66	0,52	0,50	
1962	0,80	0,63	0,56	0,48	0,61
1963	0,82	0,53	0,56	0,56	0,62
1964	0,84	0,59	0,47	0,57	0,62
1965	0,80	0,69	0,68	0,53	0,67
1966	0,76	0,49	0,40	0,63	0,57
1967	0,73	0,62	0,71	0,60	0,66
1968	0,74	0,60	0,55	0,55	0,61
1969	0,63	0,52	0,54	0,45	0,54
1970	0,68	0,68	0,60	0,62	0,65
1971	0,88	0,72	0,66	0,63	0,73
1972	0,63	0,58	0,65	0,70	0,64
1973	0,64	0,73	0,59	0,68	0,66
1974	0,71	0,75	0,57	0,66	0,67
1975	0,92	0,84	0,74	0,79	0,82
1976	0,70	0,83	0,64	0,89	0,76
1977	0,85	1,10	1,18	0,79	0,98
1978	0,91	1,02	1,14	0,69	0,94
1979	0,98	1,08	1,19	1,07	1,08
1980	1,08	1,12	1,07	0,95	1,05
1981	1,02	1,02	1,14	0,85	1,01
1982	1,02	1,17	1,25	1,00	1,11
1983	1,05	1,06	1,40	1,05	1,14
1984	1,22	1,11	1,21	0,96	1,13
1985	1,01	0,98	1,15	1,07	1,05
1986	1,05	1,16	1,24	1,00	1,11
1987	1,05	1,36	1,11	0,89	1,10
1988	0,83	1,10	1,22	0,93	1,02
1989	0,86	1,27	1,42	1,03	1,14
1990	1,00	1,29	1,13	0,97	1,10
1991	1,02	0,95	1,16	0,92	1,01
1992	0,73	0,92	1,10	0,93	0,92
1993	0,98	0,95	1,08	1,00	1,00
1994	0,77	0,91	1,26	0,85	0,95
1995	0,82	0,97	0,98	0,82	0,90
1996	0,84	0,94	1,10	0,77	0,91
1997	1,01	0,90	1,07	0,89	0,97
1998	0,86	0,89	0,94	0,72	0,85
1999	0,89	0,83	1,13	0,86	0,93
2000	0,80	0,90	1,03	0,73	0,86
2001	0,96	0,93	1,03	0,53	0,86
2002	0,46	0,96	0,90	0,63	0,74
2003	0,86	1,10	0,93	0,96	0,96
2004	0,93	0,93	1,20	1,00	1,01
2005	1,00	1,06	1,00	1,00	1,01
2006	0,96	0,90	1,23	1,00	1,02
2007	0,00	0,83	0,76	0,06	0,41
2008	0,16	1,23	1,46	0,90	0,94
průměr	0,83	0,91	0,96	0,79	0,87

zdroj: ČHMÚ

Berlín	zima	jaro	léto	podzim	rok
1961		0,57	0,79	0,57	
1962	0,32	0,79	0,82	0,49	0,60
1963	0,85	0,95	1,14	0,71	0,92
1964	0,56	0,75	0,84	0,59	0,69
1965	0,44	0,86	0,86	0,60	0,69
1966	0,58	0,81	0,66	0,61	0,67
1967	0,42	0,80	1,12	0,64	0,74
1968	0,45	0,96	1,12	0,55	0,77
1969	0,52	0,99	1,15	0,77	0,86
1970	0,69	0,89	1,28	0,66	0,88
1971	0,65	0,82	0,98	0,74	0,80
1972	0,50	0,71	0,92	0,67	0,70
1973	0,59	0,88	0,88	0,56	0,73
1974	0,56	0,71	0,98	0,62	0,72
1975	0,51	0,86	0,99	0,54	0,73
1976	0,51	0,76	0,94	0,69	0,73
1977	0,78	0,74	0,83	0,61	0,74
1978	0,55	0,76	1,08	0,50	0,72
1979	0,61	0,84	0,94	0,69	0,77
1980	0,59	0,67	0,72	0,50	0,62
1981	0,54	0,88	0,84	0,80	0,77
1982	0,77	0,99	1,22	0,84	0,95
1983	0,63	0,68	0,93	0,62	0,72
1984	0,65	0,78	1,01	0,56	0,75
1985	0,40	0,84	1,00	0,48	0,68
1986	0,63	0,80	1,05	0,62	0,77
1987	0,35	0,69	0,89	0,54	0,62
1988	0,44	0,87	1,01	0,46	0,70
1989	0,40	0,80	0,88	0,66	0,69
1990	0,52	0,85	0,83	0,50	0,67
1991	0,41	0,56	0,92	0,62	0,63
1992	0,39	0,55	1,03	0,52	0,62
1993	0,28	0,78	0,93	0,35	0,59
1994	0,39	0,66	1,00	0,53	0,65
1995	0,44	0,54	0,81	0,43	0,55
1996	0,32	0,55	0,60	0,50	0,49
1997	0,48	0,63	0,88	0,61	0,65
1998	0,52	0,67	0,80	0,30	0,57
1999	0,35	0,57	0,90	0,43	0,56
2000	0,28	0,72	0,92	0,52	0,61
2001	0,32	0,35	0,63	0,35	0,41
2002	0,27	0,40	0,63	0,35	0,41
2003	0,17	0,40	0,60	0,35	0,38
2004	0,20	0,35	0,73	0,55	0,46
2005	0,25	0,45	0,73	0,50	0,48
2006	0,18	0,70	0,87	0,47	0,55
2007	0,32	0,52	0,72	0,33	0,47
2008	0,35	0,27	1,03	0,42	0,52
průměr	0,47	0,71	0,91	0,55	0,66

zdroj: DWD

**Příloha 4:** Výsledky testování homogenity dat pomocí metody podvojně součtové čáry  
(data mohou být prohlášena za homogenní, pokud není přímka zalomena, přerušena, či jinak nehomogenní)

